



[Handwritten signature]

Docket No. 1232-5261

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant(s): MATSUNAGA, et al.

Group Art Unit: TBA

Serial No.: 10/767,490

Examiner: TBA

Filed: January 28, 2004

For: OPTICAL SYSTEM, DISPLAY OPTICAL SYSTEM AND IMAGE-TAKING
OPTICAL SYSTEM

CERTIFICATE OF MAILING (37 C.F.R. §1.8(a))

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

I hereby certify that the attached:

1. Claim to Convention Priority w/1 document
2. PTO Form 1499
3. Return postcard receipt

along with any paper(s) referred to as being attached or enclosed and this Certificate of Mailing are being deposited with the United States Postal Service on date shown below with sufficient postage as first-class mail in an envelope addressed to the: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450.

Respectfully submitted,
MORGAN & FINNEGAN, L.L.P.

Dated: May 14, 2004

By:

[Handwritten signature: Helen Tiger]
Helen Tiger

Correspondence Address:

MORGAN & FINNEGAN, L.L.P.
345 Park Avenue
New York, NY 10154-0053
(212) 758-4800 Telephone
(212) 751-6849 Facsimile



CUSTOMER NO. 27123

Docket No. 1232-5261

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant(s): MATSUNAGA, et al.

Group Art Unit: TBA

Serial No.: 10/767,490

Examiner: TBA

Filed: January 28, 2004

For: OPTICAL SYSTEM, DISPLAY OPTICAL SYSTEM AND IMAGE-TAKING
OPTICAL SYSTEM

CLAIM TO CONVENTION PRIORITY

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

In the matter of the above-identified application and under the provisions of 35 U.S.C. §119 and 37 C.F.R. §1.55, applicant(s) claim(s) the benefit of the following prior application(s):

Application(s) filed in: Japan
In the name of: Canon Kabushiki Kaisha
Serial No(s): 2003-025305
Filing Date(s): January 31, 2003

- ☒ Pursuant to the Claim to Priority, applicant(s) submit(s) a duly certified copy of said foreign application.
- ☐ A duly certified copy of said foreign application is in the file of application
Serial No. _____, filed _____.

Respectfully submitted,
MORGAN & FINNEGAN, L.L.P.

Dated: May 13 2004

By:

Joseph A. Calvaruso
Joseph A. Calvaruso
Registration No. 28,287

Correspondence Address:
MORGAN & FINNEGAN, L.L.P.
345 Park Avenue
New York, NY 10154-0053
(212) 758-4800

Telephone
(212) 751-6849 Facsimile

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

CFU00132
US

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 1 月 3 1 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 0 2 5 3 0 5
Application Number:

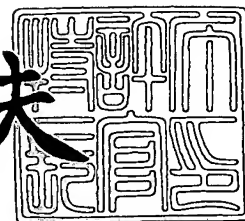
[ST. 10/C] : [J P 2 0 0 3 - 0 2 5 3 0 5]

出 願 人 キヤノン株式会社
Applicant(s):

2 0 0 4 年 1 月 1 4 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号 出証特 2 0 0 3 - 3 1 1 1 2 4 5

【書類名】 特許願

【整理番号】 226045

【提出日】 平成15年 1月31日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 27/00

【発明の名称】 光学系

【請求項の数】 1

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都大田区下丸子 3 丁目 3 0 番 2 号 キヤノン株式会社
社内

 【氏名】 松永 智美

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都大田区下丸子 3 丁目 3 0 番 2 号 キヤノン株式会社
社内

 【氏名】 山崎 章市

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都大田区下丸子 3 丁目 3 0 番 2 号 キヤノン株式会社
社内

 【氏名】 猪口 和隆

【特許出願人】

 【識別番号】 000001007

 【氏名又は名称】 キヤノン株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100067541

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 岸田 正行

【選任した代理人】

【識別番号】 100104628

【弁理士】

【氏名又は名称】 水本 敦也

【選任した代理人】

【識別番号】 100108361

【弁理士】

【氏名又は名称】 小花 弘路

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 044716

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光学系

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 少なくとも反射作用を有する第 1 の面と、この第 1 の面で反射した光線を再度前記第 1 の面に向けて反射する第 2 の面とを少なくとも含む複数の光学面を有し、

前記第 1 の面は、前記第 2 の面から該第 1 の面に再度入射した中心画角主光線を、該第 1 の面における中心画角主光線のヒットポイント上での法線に対して前回とは反対側に反射し、

かつ前記複数の光学面のうち少なくとも 1 面は回折光学面であることを特徴とする光学系。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、原画を拡大表示させるヘッドマウントディスプレイやプロジェクタ等の画像表示装置、さらにはデジタルカメラ等の撮影装置に好適な光学系に関するものである。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

CRT や LCD 等の画像形成素子を用い、これらの画像形成素子に表示された原画を光学系を介して拡大表示させる画像表示装置として、ヘッドマウントディスプレイ等と称される頭部装着型のものがある。

【0 0 0 3】

このヘッドマウントディスプレイは、観察者が頭部に装着するため、特に装置全体の小型化、軽量化が要望されている。また、重量バランスや外観等を考慮すると、観察者の視軸方向（前後方向）に薄型であることが好ましい。さらに、表示される拡大像に迫力を持たせるために、できるだけ大きな拡大像が望まれている。

【0 0 0 4】

例えば特許文献 1～4 においては、画像形成素子としての LCD（液晶ディスプレイ）と、観察光学系としての薄型プリズムとを使用し、装置全体の薄型化を図った画像表示装置が提案されている。

【0005】

図 17 には、特許文献 1 にて提案されている画像表示装置を示している。この装置において、LCD 111 から発せられた光は、小型の偏心プリズム 112 の入射面 113 に入射する。そして、プリズム 112 に形成した曲率を有した全反射面 114 と反射面 115 との間で光束が折り畳まれ、その後、面 114 より偏心プリズム 112 から射出して観察者の眼 E に導かれる。これにより、LCD 111 に形成された原画の虚像が形成され、この虚像を観察者が観察する。

【0006】

偏心プリズム 112 の反射面 115 は、偏心非回転対称面（アジマス角度により光学的パワーの異なる面であり、いわゆる自由曲面）で構成された偏心自由曲面より構成されている。

【0007】

また、図 18 に示す光学系は、共軸凹面鏡 103 と眼球光軸に対して 45° 傾いたハーフミラー 102 とを用いて画像形成素子 101 に形成されたタイプである。図 17 に示す画像表示装置は、この図 18 に示す装置に比べて、装置全体の薄型化および観察視野の広画角化が容易である。

【0008】

また、光学系の中に回折光学面を用いることで、屈折光学系で発生する色収差と逆の色収差を発生させ、光学系全体の諸収差を抑えた高画質の画像表示装置も提案されている。

【0009】

例えば、特許文献 5 では、接眼光学系を構成する 3 面からなるプリズムの 1 面に回折光学面を配置し、装置全体の薄型化を残しつつ、偏心色収差の補正を行う光学系が提案されている。

【0010】

また、特許文献 6 には、回折光学面を配置したリレー光学系により一旦中間像

を形成し、凹面鏡を有する接眼光学系を偏心配置し、画像形成素子に形成された画像を観察者に導く光学系が提案されている。

【0011】

さらに、特許文献7には、光源(LEDやLD等)で発した光を走査して画像を投影し、回折光学面を配置したリレー光学系を用いてこの画像の中間像を形成させ、更に偏心配置された凹面鏡を有する接眼光学系により観察者に導くという、少なくとも3面からなるプリズム体を含む光学系が提案されている。

【0012】

【特許文献1】

特開平7-333551号公報

【特許文献2】

特開平8-50256号公報

【特許文献3】

特開平8-160340号公報

【特許文献4】

特開平8-179238号公報

【特許文献5】

特開平10-142025号公報

【特許文献6】

特許第2705880号公報

【特許文献7】

特開2000-004955号公報

【0013】

【発明が解決しようとする課題】

近年、画像形成素子であるLCD等の高精細化が進み、従来と同程度の画素数を有しながらもより小型化された画像形成素子が開発されている。このような小型化された画像形成素子を用いると、装置の小型化には有利になるものの、従来と同様の広画角を達成するためには、光学系の倍率を上げる必要が生じる。

【0014】

しかしながら、倍率を上げるために、光学系内で中間像を形成させると、光路長が長くなり、装置が大型化するという問題がある。

【0015】

本発明は、高倍率化が容易であり、かつ諸収差も良好に補正でき、しかも小型の光学系を提供することを目的としている。

【0016】

【課題を解決するための手段】

上記の目的を達成するために、本発明の光学系では、少なくとも反射作用を有する第1の面と、この第1の面で反射した光線を再度第1の面に向けて反射する第2の面とを少なくとも含む複数の光学面を有し、第1の面は、第2の面から該第1の面に再度入射した中心画角主光線を、該第1の面における該主光線のヒットポイント上での法線に対して前回とは反対側に反射する。そして、上記複数の光学面のうち少なくとも1面を回折光学面としている。

【0017】

【発明の実施の形態】

（実施形態1）

図1には、本発明の実施形態1であるヘッドマウントディスプレイやプロジェクタ等の画像表示装置の光学系（表示光学系）の構成を示している。

【0018】

1は第1の光学系を構成する光学素子1であり、内部が屈折率が1より大きい透明媒質で満たされた透明体（プリズム体）上に3つの光学面A、B、Cを有する。面A（第1の面）、面B（第3の面）はともに透過面および反射面として作用する透過反射兼用面、面C（第2の面）は回折光学面としての作用を持つ反射面である。また、面A、B、Cはいずれも偏心面である。また、面Cにおける後述する折り返し反射は、面Cに形成された反射膜による反射である。

【0019】

2は第2の光学系である。3はLCD（液晶ディスプレイ）等の原画を形成する画像形成素子である。この画像形成素子3には駆動回路4が接続されており、駆動回路4には、パーソナルコンピュータ、ビデオ、DVDプレーヤー等の画像

情報供給装置 5 から画像信号が供給される。駆動回路 4 には画像供給装置 5 から画像信号が入力され、駆動回路 4 は入力された画像信号に応じた原画を形成（表示）するように画像形成素子 3 を駆動する。S は光学素子 1 および第 2 の光学系 2 からなる表示光学系の射出瞳である。

【0020】

図 1 では、画像形成素子 3 から発した光の例として、画像形成素子 3 の表示面の中心を射出して射出瞳 S の中心に至る光線（ここでは中心画角主光線という）を示している。

【0021】

画像形成素子 3 から発した光は、第 2 の光学系 2 を介して光学素子 1 に導かれる。光は面 B から光学素子 1 に入射し、面 A で反射された後、面 C に導かれる。面 C に入射した光はほぼ反対側に折り返し反射され、面 C での反射前の光と逆向きに進む。

【0022】

面 C で折り返し反射された光は面 A で再反射される。ここで、第 1 の面である面 A は、第 2 の面である面 C から面 A に再度入射した中心画角主光線を、面 A における該主光線のヒットポイント上での法線に対して前回（面 B から面 A に入射した光の面 A での反射）とは反対側に反射する。

【0023】

面 A で再反射された光は、面 B で反射され、面 A から光学素子 1 を射出して、射出瞳 S に到達し、観察者の眼又はスクリーン等の被投射面に画像を投影する。

【0024】

また、光学素子 1 において、光は、面 B → 面 A → 面 C（折り返し反射）→ 面 A → 面 B → 面 A の順に各面を辿り、面 C での折り返し反射を境に、最終の反射面 B に至るまで、それまでの光路を逆にたどる。つまり、光学素子 1 内に、往路としての面 B → 面 A → 面 C と、復路としての面 C → 面 A → 面 B とが形成される。

【0025】

なお、本実施形態において（以下の実施形態でも同様）、面 C のように往路を復路に変える折り返し反射作用を持つ面を折り返し面という。

【0026】

このように、複数の偏心反射面 A, B, C で光路を折り返し、往路と復路をほぼ重複させることにより、長い光路長を小型の光学素子 1 内に収めることができる。これにより、表示光学系全体をも小型化することができる。

【0027】

また、表示光学系内に往復光路を形成し、面 C に、往路と復路を重複させる折り返し反射面としての作用と、色収差や偏心収差の補正に寄与する回折光学面としての作用の 2 つの作用を持たせることで、効率良く諸収差を補正し、良好な光学性能を得ることができる。また、表示光学系から不要な面を取り除き、表示光学系全体を小型とし、かつ面 A, B で光が屈折する際に発生する色収差を良好に補正することができる。

【0028】

そして、この表示光学系を用いて、観察者の眼又はスクリーン等の被投射面に画像を投影する画像表示装置を構成することにより、小型で画角が大きく、かつ色収差や偏心収差が良好に補正された高品位な画像を表示可能な画像表示装置を実現することができる。

【0029】

なお、本実施形態では、回折光学面を面 C とした場合について説明したが、回折光学面を第 2 の光学系 2 中に設けてもよい。この場合も、表示光学系から不要な面を取り除き、表示光学系全体を小型とし、かつ色収差等を補正できるという作用効果が得られ、更には光学素子 1 で発生した偏心収差を補正しやすくなるため、非常に良好な光学性能を得た画像表示装置を提供することができる。

【0030】

また、本実施形態では、透明体により構成される光学素子 1 により往復光路を形成する場合について説明したが、光学素子 1 を複数のミラー部材を組み合わせで構成してもよい。

【0031】

また、面 A での反射を光学素子 1 での内部全反射とすると、光量ロスが少なくなり好ましい。少なくとも面 A における反射する光束と射出する光束とが共に入

射する領域において、反射光束が内部全反射するようにすると、反射光束のすべてを内部全反射とする場合に対して設計の自由度を上げつつ同程度の明るさを確保できる。この場合、面Aにおいて内部全反射を行わない反射は反射膜による反射とする。

(実施形態2)

上記実施形態1では、画像表示装置に用いられる表示光学系について説明したが、同様の光学系を、撮像装置に用いられる撮像（結像）光学系としても用いることができる。

【0032】

図2には、本発明の実施形態2であるデジタルスチルカメラ、ビデオカメラ等の撮像装置の光学系（撮像光学系）の構成を示している。

【0033】

1は第1の光学系を構成する光学素子であり、内部が屈折率が1より大きい透明媒質で満たされた透明体（プリズム体）上に3つの光学面A、B、Cを有する。面A（第1の面）、面B（第3の面）はともに透過面および反射面として作用する透過反射兼用面、面C（第2の面）は回折光学面としての作用を持つ反射面である。また、面A、B、Cはいずれも偏心面である。また、面Cにおける後述する折り返し反射は、面Cに形成された反射膜による反射である。

【0034】

2は第2の光学系で、6はCCDやCMOSセンサ等、光電変換作用を有する撮像素子である。Sは光学素子1および第2の光学系2からなる撮像光学系の入射瞳であり、この位置に絞りを置いて不要光の入射を防いでいる。

【0035】

図2においては、外界から撮像光学系に入射する光の例として、入射瞳Sの中心を通り撮像素子6の受光面の中心に至る光線（ここでは中心画角主光線という）を示している。

【0036】

外界からの光は、面Aから光学素子1に入射し、面Bで反射され、面Aで反射された後、面Cに導かれる。面Cに入射した光はほぼ反対側に折り返し反射され、

面 A で再反射される。

【0037】

ここで、第 1 の面である面 A は、第 2 の面である面 C から面 A に再度入射した中心画角主光線を、面 A における該主光線のヒットポイント上での法線に対して前回（面 B から面 A に入射した光の面 A での反射）とは反対側に反射する。

面 A で再反射され、面 B に向かった光は、面 B から光学素子 1 を射出して第 2 の光学系 2 に向う。第 2 の光学系 2 を通過した光は撮像素子 6 に導かれ撮像素子 6 の受光面にて結像する。撮像素子 6 の光電変換作用によって、外界像の画像信号を取得することができる。

【0038】

撮像素子 6 からの画像信号は、画像処理回路 7 により各種画像処理が施され、半導体メモリや磁気ディスク、光ディスク等の記録媒体に記録される。

また、本実施形態では、光学素子 1 において、光は面 A → 面 B → 面 A → 面 C（折り返し反射）→ 面 A → 面 B の順に各面を辿り、面 C での折り返し反射を境に、透過面 B に至るまでそれまでの光路を逆にたどる。つまり、光学素子 1 内に往路としての面 B → 面 A → 面 C と復路としての面 C → 面 A → 面 B とが形成される。

【0039】

このように、複数の偏心反射面 A, B, C で光路を折り返し、往路を復路をほぼ重複させることにより、長い光路長を小型の光学素子 1 内に収めることができる。これにより、撮像光学系、さらには撮像装置全体をも小型化することができる。

【0040】

また、上記のように撮像光学系内に往復光路を形成し、面 C に、光路を重複させる折り返し面としての作用と、色収差や偏心収差の補正に寄与する回折光学面としての作用の 2 つの作用を持たせることで、効率良く諸収差を補正し、良好な光学性能を得ることができる。また、撮像光学系から不要な面を取り除き、撮像光学系全体を小型にし、かつ面 A, B での屈折の際に発生する色収差補正を可能とする。

【0041】

そして、この撮像光学系を用いて撮像装置を構成することにより、小型で画角が大きく、かつ色収差や偏心収差が良好に補正された高品位な画像を撮影可能な撮像装置を実現することができる。

【0042】

なお、本実施形態では、回折光学面を面Cとした場合について説明したが、回折光学面を第2の光学系2中に設けてもよい。この場合も、撮像光学系から不要な面を取り除き、撮像光学系全体を小型にし、かつ色収差等を補正できるという作用効果が得られ、更には光学素子1で発生した偏心収差を補正しやすくなるため、非常に良好な光学性能を得た画像表示装置を提供することができる。

【0043】

また、本実施形態では、透明体により構成される光学素子1により往復光路を形成する場合について説明したが、光学素子1を複数のミラー部材を組み合わせで構成してもよい。

【0044】

また、面Aでの反射を光学素子1での内部全反射とすると、光量ロスが少なくなり好ましい。少なくとも面Aにおける反射する光束と射出する光束とが共に入射する領域において、反射光束が内部全反射するようにすると、反射光束のすべてを内部全反射とする場合に対して設計の自由度を上げつつ同程度の明るさを確保できる。この場合、面Aにおいて内部全反射を行わない反射は反射膜による反射とする。

【0045】

(実施形態3)

図3には、本発明の実施形態3であるヘッドマウントディスプレイやプロジェクタ等の画像表示装置の表示光学系の構成を示している。

【0046】

11は第1の光学系を構成する光学素子であり、内部が屈折率が1より大きい透明媒質で満たされた透明体（プリズム体）上に3つの光学面A、B、Cを有する。面A（第1の面）、面B（第3の面）はともに透過面および反射面として作用する透過反射兼用面、面C（第2の面）は回折光学面としての作用を持つ反射

面である。また、面A、B、Cはいずれも偏心面である。また、面Cにおける後述する折り返し反射は、面Cに形成された反射膜による反射である。

【0047】

12は第2の光学系である。13はLCD（液晶ディスプレイ）等の原画を形成する画像形成素子である。この画像形成素子13には駆動回路14が接続されており、駆動回路14には、パーソナルコンピュータ、ビデオ、DVDプレーヤー等の画像情報供給装置15から画像信号が供給される。駆動回路14には画像供給装置15からの画像信号が入力され、駆動回路14は入力された画像信号に応じた原画を形成（表示）するように画像形成素子13を駆動する。Sは光学素子11および第2の光学系12からなる表示光学系の射出瞳である。

【0048】

図3では、画像形成素子13から発した光の例として、画像形成素子13の表示面の中心を射出して射出瞳Sの中心に至る光線（ここでは中心画角主光線という）を示している。

【0049】

画像形成素子13から発した光は、第2の光学系12を介して光学素子11に導かれる。光はB面から光学素子11に入射し、面Aで反射された後、面Cで反射され、面Aに導かれる。面Aに入射した光はほぼ反対側に折り返し反射され、面Aでの折り返し反射前の光と逆向きに進む。

面Aで反射された光は面Cで再反射され、面Aでも再反射される。ここで、第1の面である面Aは、第2の面である面Cから面Aに再度入射した中心画角主光線を、面Aにおける該主光線のヒットポイント上での法線に対して前回（面Bから面Aに入射した光の面Aでの反射）とは反対側に反射する。また、この関係は、面Cでの2回の反射についても同様である。

【0050】

面Aで再反射された光は、面Bで反射され、面Aから光学素子11を射出して、射出瞳Sに到達し、観察者の眼又はスクリーン等の被投射面に画像を投影する。

【0051】

光学素子 11 において、光は、面 B→面 A→面 C→面 A（折り返し反射）→面 C→面 A→面 B→面 A の順に各面を辿り、面 A での折り返し反射を境に、最終の反射面 B に至るまで、それまでの光路を逆にたどる。つまり、光学素子 11 内に、往路としての面 B→面 A→面 C→面 A と、復路としての面 A→面 C→面 A→面 B とが形成される。

【0052】

このように、複数の偏心反射面 A, B, C で光路を折り返し、往路と復路をほぼ重複させることにより、長い光路長を小型の光学素子 11 内に収めることができる。これにより、表示光学系全体をも小型化することができる。

【0053】

また、表示光学系内に往復光路を形成し、面 C に、光路を重複させる折り返し面としての作用と、色収差や偏心収差の補正に寄与する回折光学面としての作用の 2 つの作用を持たせることで、効率良く諸収差を補正し、良好な光学性能を得ることができる。また、表示光学系から不要な面を取り除き、表示光学系全体を小型とし、かつ面 A, B で光が屈折する際に発生する色収差を良好に補正することができる。

【0054】

そして、この表示光学系を用いて、観察者の眼又はスクリーン等の被投射面に画像を投影する画像表示装置を構成することにより、小型で画角が大きく、かつ色収差や偏心収差が良好に補正された高品位な画像を表示可能な画像表示装置を実現することができる。

【0055】

なお、本実施形態では、回折光学面を面 C とした場合について説明したが、回折光学面を第 2 の光学系 2 中に設けてもよい。この場合も、表示光学系から不要な面を取り除き、表示光学系全体を小型とし、かつ色収差等を補正できるという作用効果が得られ、更には光学素子 11 で発生した偏心収差を補正しやすくなるため、非常に良好な光学性能を得た画像表示装置を提供することができる。

【0056】

また、本実施形態では、透明体により構成される光学素子 11 により往復光路

を形成する場合について説明したが、光学素子 1 1 を複数のミラー部材を組み合わせて構成してもよい。

【0 0 5 7】

また、面 A での反射を光学素子 1 1 での内部全反射とすると、光量ロスが少なくなり好ましい。少なくとも面 A における反射する光束と射出する光束とが共に入射する領域において、反射光束が内部全反射するようにすると、反射光束のすべてを内部全反射とする場合に対して設計の自由度を上げつつ同程度の明るさを確保できる。この場合、面 A において内部全反射を行わない反射は反射膜による反射とする。

【0 0 5 8】

(実施形態 4)

上記実施形態 3 では、画像表示装置に用いられる表示光学系について説明したが、同様の光学系を、撮像装置に用いられる撮像（結像）光学系としても用いることができる。

【0 0 5 9】

図 4 には、本発明の実施形態 4 であるデジタルスチルカメラ、ビデオカメラ等の撮像装置の光学系（撮像光学系）の構成を示している。

【0 0 6 0】

1 1 は第 1 の光学系を構成する光学素子であり、内部が屈折率が 1 より大きい透明媒質で満たされた透明体（プリズム体）上に 3 つの光学面 A, B, C を有する。面 A（第 1 の面）、面 B（第 3 の面）はともに透過面および反射面として作用する透過反射兼用面、面 C（第 2 の面）は回折光学面としての作用を持つ反射面である。また、面 A, B, C はいずれも偏心面である。また、面 C における後述する折り返し反射は、面 C に形成された反射膜による反射である。さらに、面 B には半透過反射膜（ハーフミラー）が形成されている。

【0 0 6 1】

1 2 は第 2 の光学系で、1 6 は CCD や CMOS センサ等、光電変換作用を有する撮像素子である。S は光学素子 1 および第 2 の光学系 2 からなる撮像光学系の入射瞳であり、この位置に絞りを置いて不要光の入射を防いでいる。

【0062】

図4においては、外界から撮像光学系に入射する光の例として、入射瞳Sの中心を通り撮像素子16の受光面の中心に至る光線（ここでは中心画角主光線という）を示している。

【0063】

外界からの光は、面Aから光学素子11に入射し、面Bで反射され、面Aで反射された後、面Cで反射され、面Aに導かれる。面Aに入射した光はほぼ反対側に折り返し反射され、面Aでの折り返し反射前の光と逆向きに進む。

【0064】

面Aで折り返し反射された光は面Cで再反射され、面Aでも再反射される。ここで、第1の面である面Aは、第2の面である面Cから面Aに再度入射した中心画角主光線を、面Aにおける該主光線のヒットポイント上での法線に対して前回（面Bから面Aに入射した光の面Aでの反射）とは反対側に反射する。また、この関係は、面Cでの2回の反射についても同様である。

【0065】

面Aで再反射された光は、面Bから光学素子11を射出して、第2の光学系12を通過した後、撮像素子16の受光面にて結像する。撮像素子16の光電変換作用によって、外界像の画像信号を取得することができる。

【0066】

撮像素子16からの画像信号は、画像処理回路17により各種画像処理が施され、半導体メモリや磁気ディスク、光ディスク等の記録媒体に記録される。

【0067】

光学素子11において、光は、面A→面B→面A→面C→面A（折り返し反射）→面C→面A→面Bの順に各面を辿り、面Aでの折り返し反射を境に、最終の反射面Bに至るまで、それまでの光路を逆にたどる。つまり、光学素子11内に、往路としての面B→面A→面C→面Aと、復路としての面A→面C→面A→面Bとが形成される。

【0068】

このように、複数の偏心反射面A、B、Cで光路を折り返し、往路を復路をほぼ

重複させることにより、長い光路長を小型の光学素子 11 内に収めることができる。これにより、撮像光学系、さらには撮像装置全体をも小型化することができる。

【0069】

また、撮像光学系内に往復光路を形成し、面 C に、光路を重複させる折り返し面としての作用と、色収差や偏心収差の補正に寄与する回折光学面としての作用の 2 つの作用を持たせることで、効率良く諸収差を補正し、良好な光学性能を得ることができる。また、撮像光学系から不要な面を取り除き、撮像光学系全体を小型とし、かつ面 A、B で光が屈折する際に発生する色収差を良好に補正することができる。

【0070】

そして、この撮像光学系を用いて撮像装置を構成することにより、小型で画角が大きく、かつ色収差や偏心収差が良好に補正された高品位な画像を撮影可能な撮像装置を実現することができる。

【0071】

なお、本実施形態では、回折光学面を面 C とした場合について説明したが、回折光学面を第 2 の光学系 2 中に設けてもよい。この場合も、撮像光学系から不要な面を取り除き、撮像光学系全体を小型にし、かつ色収差等を補正できるという作用効果が得られ、更には光学素子 11 で発生した偏心収差を補正しやすくなるため、非常に良好な光学性能を得た画像表示装置を提供することができる。

【0072】

また、本実施形態では、透明体により構成される光学素子 11 により往復光路を形成する場合について説明したが、光学素子 11 を複数のミラー部材を組み合わせさせて構成してもよい。

【0073】

また、面 A での反射を光学素子 11 での内部全反射とすると、光量ロスが少なくなり好ましい。少なくとも面 A における反射する光束と射出する光束とが共に入射する領域において、反射光束が内部全反射するようにすると、反射光束のすべてを内部全反射とする場合に対して設計の自由度を上げつつ同程度の明るさを

確保できる。この場合、面 A において内部全反射を行わない反射は反射膜による反射とする。

【0074】

上記実施形態 1～4 において、光学素子 1, 11 の折り返し面に入射した光線（中心画角主光線）が反射されて射出されるとき、該折り返し面の前後で光線が所定の角度 θ をなすように入射し反射される場合、角度 θ は、

$$|\theta| < 60^\circ \quad \dots (1)$$

を満たすことが望ましい。この条件を外れると、折り返し反射後の光路（復路）が往路を逆戻りせず、往復光路というよりジグザグ光路になってしまい、光学素子 1, 11 が大型化する。

【0075】

また、好ましくは、

$$|\theta| < 30^\circ \quad \dots (2)$$

を満たすとよい。条件式（2）の条件を外れると、折り返し反射後の光路（復路）が往路を逆戻りすることはできるが、往路と復路が重ならず、光学素子 1, 11 の小型化の程度が小さくなる。

【0076】

そして、より好ましくは、

$$|\theta| < 20^\circ \quad \dots (3)$$

を満たすとよい。条件式（3）を満たすことにより、光学素子 1, 11 の十分な小型化を図ることができる。

【0077】

以下、本発明の具体的な数値実施例について説明する。偏心系に対応していない従来系の定義では、各光学面は、それぞれの面頂点を基準とした座標系で表される。すなわち、z軸を光軸とし、yz断面が従来の母線断面（メリジオナル断面）であり、xz断面が子線断面（サジタル断面）となる。

【0078】

しかし、上記各実施形態で説明した光学系は偏心系であるので、偏心系に対応したローカル母線断面、ローカル子午線断面を新たに定義する。

中心画角主光線の各面のヒットポイント上で、中心画角主光線の入射光と射出光を含む面をローカル母線断面とし、ヒットポイントを含みローカル母線断面と垂直で各面頂点座標系の子線断面（通常の子線断面）と平行な面をローカル子線断面として定義する。

【0079】

各面における中心画角主光線のヒットポイント近傍での曲率を計算し、各面の中心画角主光線に対するローカル母線断面の曲率半径を r_y 、ローカル子線断面の曲率半径 r_x を定義する。このとき、光学系中にある回折光学面（DOE面）において、

$$|r_y / r_x| < 4 \quad \dots (4)$$

なる条件を満たすことが望ましい。条件式（4）を満たさないようなDOE面の形状は、表示光学系または撮像光学系の色収差や偏心収差の抑制もしくは補正が良好に行えなくなる。

【0080】

[数値実施例1]

図5は、本発明の光学系の数値実施例1を示す断面図である。この数値実施例1は、上記実施形態3、4に対応するものである。光学素子11は、内部が光学媒質で満たされたプリズム形状の透明体であり、折り返し面（面A）を含む3つの光学面A～Cを有する。

【0081】

S2, S4, S6, S8は同一面（面A）であり、S3, S9は同一面（面B）である。また、S5, S7は同一面（面C）である。S6は折り返し反射作用を持つ折り返し面であり、S5, S7はDOE面である。

第2の光学系12は、それぞれ2面を有する2つの光学素子21, 22により構成されている。各光学素子21, 22は、内部が光学媒質で満たされたプリズム形状の透明体である。

【0082】

これら全ての面は紙面（y z 断面）を唯一の対称面として持つ面对称形状をしている。尚、図中の x、y、z は観察者の視軸方向を z 軸、紙面内で z 軸に垂直

な方向を y 軸、紙面に垂直な方向を x 軸とした座標定義である。

【0083】

本数値実施例 1 の光学データを表 1 に、中心画角主光線に対するローカルデータを表 9 に示す。

【0084】

ここで、表 1 の光学データの見方を説明する。なお、ここでの説明は、以下に説明するすべての数値実施例に共通する。

【0085】

まず、最も左の項目 SURF は面番号を示している。また、X, Y, Z および A は、面 S 1 の中心を原点 (0, 0, 0) とし、図中に示した y 軸, z 軸と紙面奥向きに x 軸をとった座標系における各面の面頂点の位置 (x, y, z), 並びに、図面上で反時計回り方向を正方向とする x 軸回りの回転角度 a (単位: 度) である。R は曲率半径である。TYP の項は面形状の種類を表し、S

【0086】

PH は球面であり、FFS は以下の式に従う回転非対称面である。

【0087】

$$z = (1/R) * (x^2 + y^2) / (1 + (1 - (1+k) * (1/R)^2 * (x^2 + y^2))^{1/2}) + c_2 + c_4 * y + c_5 * (x^2 - y^2) + c_6 * (-1 + 2 * x^2 + 2 * y^2) + c_{10} * (-2 * y + 3 * x^2 * y + 3 * y^3) + c_{11} * (3 * x^2 * y - y^3) + c_{12} * (x^4 - 6 * x^2 * y^2 + y^4) + c_{13} * (-3 * x^2 + 4 * x^4 + 3 * y^2 - 4 * y^4) + c_{14} * (1 - 6 * x^2 + 6 * x^4 - 6 * y^2 + 12 * x^2 * y^2 + 6 * y^4) + c_{20} * (3 * y - 12 * x^2 * y + 10 * x^4 * y - 12 * y^3 + 20 * x^2 * y^3 + 10 * y^5) + c_{21} * (-12 * x^2 * y + 15 * x^4 * y + 4 * y^3 + 10 * x^2 * y^3 - 5 * y^5) + c_{22} * (5 * x^4 * y - 10 * x^2 * y^3 + y^5) + c_{23} * (x^6 - 15 * x^4 * y^2 + 15 * x^2 * y^4 - y^6) + c_{24} * (-5 * x^4 + 6 * x^6 + 30 * x^2 * y^2 - 30 * x^4 * y^2 - 5 * y^4 - 30 * x^2 * y^4 + 6 * y^6) + c_{25} * (6 * x^2 - 20 * x^4 + 15 * x^6 - 6 * y^2 + 15 * x^4 * y^2 + 20 * y^4 - 15 * x^2 * y^4 - 15 * y^6) + c_{26} * (-1 + 12 * x^2 - 30 * x^4 + 20 * x^6 + 12 * y^2 - 60 * x^2 * y^2 + 60 * x^4 * y^2 - 30 * y^4 + 60 * x^2 * y^4 + 20 * y^6) + \dots \quad (5)$$

【0088】

また、TYP の欄で FFS の横に記された数値は、その面の形状が同表の下側に記載された非球面係数 k および c ** に対応する非回転対称形状であることを示している。但し、記載されていない c ** の値は 0 である。

【0089】

TYPの項にあるDOEは回折光学面を意味し、ベース面の定義を次に述べる。ベース面の形状は、まずDOE面におけるローカルなyz平面で以下の式に従った非球面の輪郭を最初に定義する。

【0090】

$$z = R^2 y^2 / [1 + \{1 - (1+k)R^2 y^2\}^{1/2}] + A y^4 + B y^6 + C y^8 + D y^{10}$$

ここで、Rは曲率半径である。

【0091】

次に、同表の下側に記載されたDOE面の形状を示す欄にある、RDXの値を R_{dx} とした場合、DOEのローカル座標の $x = 0$ 、 $z = -R_{dx}$ を通り、DOE面のローカルなy軸と平行な軸に対して、上記で定義した非球面の輪郭を回転させたものがベース面となる。

【0092】

また各数値実施例に用いている全てのDOE面は、 $k = 0$ 、 $A = B = C = D = 0$ である。

【0093】

さらに、ベース面に位相関数が以下の式に従って付加されている。

【0094】

$$\begin{aligned} \phi(x, y) = 2\pi/\lambda & (c1x + c2y + c3x^2 + c4xy + c5y^2 + c6x^3 + c7x^2y + c8xy^2 \\ & + c9y^3 + c10x^4 + c11x^3y + c12x^2y^2 + c13xy^3 + c14y^4 + c15x^5 + c16x^4y \\ & + c17x^3y^2 + c18x^2y^3 + c19xy^4 + c20y^5 + c21x^6 + c22x^5y + c23x^4y^2 \\ & + c24x^3y^3 + c25x^2y^4 + c26xy^5 + c27y^6) \end{aligned}$$

DOE面の位相関数は同表の下側に記載された、 c^{**} に対応する回転非対称形状であることを示している。但し、記載されていない c^{**} の値は0である。

【0095】

N_d 、 ν_d (但し、表には ν_d と記す) はそれぞれ、その面以降の媒質のd線波長での屈折率とアッペ数を示しており、屈折率 N_d の符号の変化はその面で光が反射されることを示している。

【0096】

また、媒質が空気層の場合は、屈折率 N_d のみを1.0000として表示し、

アッベ数 ν_d は省略している。

【0097】

また、折り返し面での中心画角主光線の入射光線と反射光線とのなす角度 θ の絶対値を $|\theta|$ として記載している。

【0098】

また、DOE面における中心画角主光線のヒットポイントにおけるローカル母線断面の曲率半径 r_y と、ローカル子線断面の曲率半径 r_x 、また r_y を r_x で割った値の絶対値を $|r_y/r_x|$ として記載している。

【0099】

本光学系を表示光学系として用いる場合において、S I を画像形成素子 13 の原画表示面とすると、S I からの光は S 13 から光学素子 22 に入射して S 12 から射出し、更に S 11 から光学素子 21 に入射して S 10 から射出し、光学素子 11 に向う。

【0100】

光学素子 11 に向った光は、S 9 から光学素子 11 に入射し、S 8 で反射し、S 7 で反射し、その後 S 6 (折り返し面) で反射し、S 5 で反射し、S 4 で反射し、S 3 で反射し、S 2 から光学素子 11 を射出して射出瞳 S 1 に導かれる。この際、光学素子 11 内で画像形成素子 13 の原画表示面の両端からの光線が交わっており、S I に表示された原画の中間像が形成されている。

【0101】

光学素子 11 内に中間像を形成することで、第 2 の光学系 12 のパワーを弱めてもコンパクトな構成とすることができ、第 2 の光学系 12 における余計な収差の発生を抑え、第 2 の光学系 12 の複雑化を防止できる。

【0102】

本数値実施例においては、S 7 での反射から S 5 での反射の間に中間像が形成されているが、中間像は必ずしもこの間にある必要はない。また、中間像点からの発散光束を略平行光束に変換する接眼光学系部分の収差補正を容易にするように、中間像が、接眼光学系部分での像面湾曲や非点収差の発生する状況に合わせて、適宜湾曲したり非点隔差を有したりするように結像されていることが好ましい

【0103】

また、光束がS5における反射からS2を射出するまでに、該光束に光学作用を与える面が接眼光学系部分に当たり、光学素子11でのそれ以外の部分と第2の光学系12とがリレー光学系に該当する。最終反射面として作用するときのS3は、射出面として作用する時のS2に対して非常に強いパワーを有した凹面鏡となっており、接眼光学系部分では収差を完全に補正することは困難である。このため、リレー光学系部分が接眼光学系部分での収差をキャンセルするような形の中間結像面ができるように中間像を形成することで、最終的な像観察における画質を向上させることが可能となる。

【0104】

なお、折り返し面S6と面C(S5, S7)とは反射膜が形成されている。

【0105】

また、DOE面を反射面とすることで、効率良く諸収差を補正し、良好な光学性能を得ることができる。

【0106】

本数値実施例1の長さのディメンジョンを有する数値をmmとして考えると、射出瞳径 ϕ 10mm、画像サイズ10mm \times 7.5mm程度で水平画角50°の画像をz軸方向無限遠方に表示する表示光学系となる。

【0107】

また、このような表示光学系において、ローカル母線断面上での最周辺画像のうち、射出瞳S1より遠い方側の最周像高f3と射出瞳中心を通る光線をf3中心光線、射出瞳S1より近い方側の最周像高f2と射出瞳中心とを通る光線をf2中心光線とする。このとき、f3中心光線とf2中心光線とが交差する点Pを通るような面を瞳結像面とする。これは全ての数値実施例において同様である。

【0108】

また、本光学系を撮像光学系として用いる場合、z軸負方向無限遠方の物点からの光束を、絞りS1を通過させて光学素子11に導き、S2から光学素子11に入射させ、S3で反射し、S4で反射し、S5で反射し、S6(折り返し面)

で反射した後、S7で反射し、S8で反射し、S9から光学素子11を射出させて光学素子21に導く。光学素子21に導かれた光束は、S10から光学素子21に入射し、S11より射出し、更にS12から光学素子22に入射し、S13から射出して撮像素子16の受光面SIに結像する。

【0109】

S4, S8で反射する光束のうち、S2から射出もしくは入射する光束において、射出もしくは入射範囲で反射する光束は全反射するため、光量の損失は少ない。なお、面Cにおける反射と面Aにおいて内部全反射を行わない反射は反射膜による反射である。

【0110】

本数値実施例によれば、小型で広画角の光学系を実現することができる。

【0111】

[数値実施例2]

本発明の数値実施例2の断面図を図6に、光学データを表2に示す。本数値実施例2は、上記実施形態3, 4に対応するものである。光学素子11は、内部が光学媒質で満たされたプリズム形状の透明体であり、折り返し面(面A)を含む3つの光学面A~Cを有する。

【0112】

S2, S4, S6, S8は同一面(面A)であり、S3, S9は同一面(面B)である。また、S5, S7は同一面(面C)である。S6は折り返し反射作用を持つ折り返し面である。

【0113】

第2の光学系を構成する光学素子12は、内部が光学媒質で満たされたプリズム形状の透明体であり、回折光学面(DOE面)S10を含む3つの光学面S10, S11, S12を有する。

【0114】

これら全ての面は紙面(yz断面)を唯一の対称面として持つ面对称形状を有している。

【0115】

本光学系を表示光学系として用いる場合において、S I を画像形成素子 13 の原画表示面とすると、S I からの光は S 12 から光学素子 12 に入射し、S 11 で裏面反射し、S 10 から光学素子 12 を射出して光学素子 11 に向う。

【0116】

光学素子 11 に向かった光は、S 9 から光学素子 11 に入射し、S 8 で反射し、S 7 で反射し、その後 S 6 (折り返し面) で反射し、S 5 で反射し、S 4 で反射し、S 3 で反射し、S 2 から光学素子 11 を射出して射出瞳 S 1 に導かれる。面 C および S 11 における反射と、面 A において内部全反射を行わない反射は、反射膜による反射である。さらに面 B には、半透過反射膜 (ハーフミラー) が形成されている。

【0117】

DOE 面 (S 10) を瞳結像位置の近傍に置くことで、軸上色収差を効率良く抑制できる。また、数値実施例 1 と同様に、本数値実施例 2 でも、光学素子 11 中に中間像が形成されている。

【0118】

本数値実施例 2 の長さのディメンジョンを有する数値を mm として考えると、射出瞳径 $\phi 10$ mm、画像サイズ $10\text{ mm} \times 7.5\text{ mm}$ 程度で水平画角 50° の画像を z 軸方向無限遠方に表示する表示光学系となる。

【0119】

また、本数値実施例の光学系は、数値実施例 1 の光学系と同様に、S I を撮像素子 16 の受光面とする撮像光学系として用いることもできる。

【0120】

[数値実施例 3]

本発明の数値実施例 3 の断面図を図 7 に、光学データを表 3 に示す。本数値実施例 3 は、上記実施形態 3, 4 に対応するものである。光学素子 11 は、内部が光学媒質で満たされたプリズム形状の透明体であり、折り返し面 (面 A) を含む 3 つの光学面 A ~ C を有する。

【0121】

S 2, S 4, S 6, S 8 は同一面 (面 A) であり、S 3, S 9 は同一面 (面 B

)である。また、S5, S7は同一面(面C)である。S6は折り返し反射作用を持つ折り返し面である。

【0122】

第2の光学系を構成する光学素子12は、内部が光学媒質で満たされたプリズム形状の透明体であり、回折光学面(DOE面)S11を含む3つの光学面S10, S11, S12を有する。

【0123】

これら全ての面は紙面(yz断面)を唯一の対称面として持つ面对称形状を有している。

【0124】

本光学系を表示光学系として用いる場合において、SIを画像形成素子13の原画表示面とすると、SIからの光はS12から光学素子12に入射し、S11で裏面反射し、S10から光学素子12を射出して光学素子11に向かう。光学素子11に向かった光は、S9から光学素子11に入射し、S8で反射し、S7で反射し、その後S6(折り返し面)で反射し、S5で反射し、S4で反射し、S3で反射し、S2から光学素子11を射出して射出瞳S1に導かれる。

【0125】

面CおよびS11における反射と、面Aにおいて内部全反射を行わない反射は反射膜による反射である。更に、面Bには半透過反射膜(ハーフミラー)が形成されている。

【0126】

DOE面(S11)を反射面とすることで、効率良く諸収差を補正し、良好な光学性能を得ることができる。また、数値実施例1と同様に、本数値実施例3でも、光学素子11中で中間像が形成されている。

【0127】

本数値実施例3の長さのディメンジョンを有する数値をmmとして考えると、射出瞳径 ϕ 10mm、画像サイズ10mm×7.5mm程度で水平画角50°の画像をz軸方向無限遠方に表示する表示光学系となる。

【0128】

また、本数値実施例の光学系は、数値実施例 1 の光学系と同様に、S I を撮像素子 16 の受光面とする撮像光学系として用いることもできる。

【0129】

[数値実施例 4]

本発明の数値実施例 4 の断面図を図 8 に、光学データを表 4 に示す。本数値実施例 4 は、上記実施形態 3、4 に対応するものである。光学素子 11 は、内部が光学媒質で満たされたプリズム形状の透明体であり、折り返し面（面 A）を含む 3 つの光学面 A～C を有する。

【0130】

S 2, S 4, S 6, S 8 は同一面（面 A）であり、S 3, S 9 は同一面（面 B）である。また、S 5, S 7 は同一面（面 C）である。S 6 は折り返し反射作用を持つ折り返し面である。

【0131】

第 2 の光学系を構成する光学素子 12 は、内部が光学媒質で満たされたプリズム形状の透明体であり、回折光学面（DOE 面）S 12 を含む 3 つの光学面 S 10, S 11（S 13 と同一面）, S 12 を有する。

【0132】

これら全ての面は紙面（y z 断面）を唯一の対称面として持つ面对称形状を有している。

【0133】

本光学系を表示光学系として用いる場合において、S I を画像形成素子 13 の原画表示面とすると、S I からの光は S 13 から光学素子 12 に入射し、S 12 で反射し、S 11 で裏面反射し、S 10 から光学素子 12 を射出して光学素子 11 に向かう。

【0134】

光学素子 11 に向かった光は、S 9 から光学素子 11 に入射し、S 8 で反射し、S 7 で反射し、その後 S 6（折り返し面）で反射し、S 5 で反射し、S 4 で反射し、S 3 で反射し、S 2 から光学素子 11 を射出して射出瞳 S 1 に導かれる。

面CおよびS11における反射と、面Aにおいて内部全反射を行わない反射は反射膜による反射である。さらに、面Bには半透過反射膜（ハーフミラー）が形成されている。

【0135】

DOE面（S12）を反射面とすることで、効率良く諸収差を補正し、良好な光学性能を得ることができる。

【0136】

また、数値実施例1と同様に、本数値実施例4においても、光学素子11中に中間像が形成されている。

【0137】

本数値実施例4の長さのディメンジョンを有する数値をmmとして考えると、射出瞳径 ϕ 10mm、画像サイズ10mm \times 7.5mm程度で水平画角50°の画像をz軸方向無限遠方に表示する表示光学系となる。

【0138】

また、本数値実施例の光学系は、数値実施例1の光学系と同様に、SIを撮像素子16の受光面とする撮像光学系として用いることもできる。

【0139】

[数値実施例5]

本発明の数値実施例5の断面図を図9に、光学データを表5に示す。本数値実施例4は、上記実施形態3、4に対応するものである。光学素子11は、内部が光学媒質で満たされたプリズム形状の透明体であり、折り返し面（面A）を含む3つの光学面A～Cを有する。

【0140】

S2, S4, S6, S8は同一面（面A）であり、S3, S9は同一面（面B）である。また、S5, S7は同一面（面C）である。S6は折り返し反射作用を持つ折り返し面である。

【0141】

第2の光学系は、内部が光学媒質で満たされたプリズム形状の透明体である光学素子21'と光学素子22'とから構成されている。光学素子21'はS9（

本数値実施例では光学素子 11 の面 B と光学素子 21' とが接合されているため、光学素子 11 の S9 と同一面とする) と S10 の 2 面を有し、光学素子 22' は S11 (DOE 面) と S12 の 2 面を有する。

【0142】

これら全ての面は紙面 (y z 断面) を唯一の対称面として持つ面对称形状を有している。

【0143】

本光学系を表示光学系として用いる場合において、SI を画像形成素子 13 の原画表示面とすると、SI からの光は S12 から光学素子 22' に入射し、S11 から射出する。光学素子 21' と光学素子 11 とは S9 で接合されているため、光学素子 21' の S10 に入射した光は S9 から光学素子 11 に入射する。光学素子 11 に入射した光は、S8 で反射し、S7 で反射し、その後 S6 (折り返し面) で反射し、S5 で反射し、S4 で反射し、S3 で反射し、S2 から光学素子 11 を射出して射出瞳 S1 に導かれる。

【0144】

面 C における反射と面 A において内部全反射を行わない反射は、反射膜による反射である。

【0145】

さらに、面 B には半透過反射膜 (ハーフミラー) が形成されている。

【0146】

また、DOE 面 (S11) を透過面とすることで、格子の溝を深くすることができ、かつ寸法公差が緩いため、製造もし易い。

【0147】

また、数値実施例 1 と同様に、本数値実施例 5 でも、光学素子 11 中に中間像が形成されている。

【0148】

本数値実施例 5 の長さのディメンジョンを有する数値を mm として考えると、射出瞳径 $\phi 10$ mm、画像サイズ $10 \text{ mm} \times 7.5 \text{ mm}$ 程度で水平画角 50° の画像を z 軸方向無限遠方に表示する表示光学系となる。

【0149】

また、本実施例においても、実施例1同様に撮像装置を構成する光学系としても利用できる。

【0150】

[数値実施例6]

本発明の数値実施例6の断面図を図10に、光学データを表6に示す。本数値実施例6は、上記実施形態1、2に対応するものである。光学素子1は、内部が光学媒質で満たされたプリズム形状の透明体であり、折り返し面かつ回折光学面(面C)を含む3つの光学面A～Cを有する。

【0151】

S2, S4, S6は同一面(面A)であり、S5は面Cである。また、S3, S7は同一面(面B)である。S5は折り返し反射作用を持つ折り返し面であるとともに、回折光学面(DOE面)である。

【0152】

第2の光学系は、内部が光学媒質で満たされたプリズム形状の透明体である光学素子2により構成されている。光学素子2は、3つの光学面S8、S9、S10を有する。

【0153】

これら全ての面は紙面(yz断面)を唯一の対称面として持つ面对称形状を有している。

【0154】

本光学系を表示光学系として用いる場合において、SIを画像形成素子3の原画表示面とすると、SIからの光はS10から光学素子2に入射し、S9で裏面反射し、S8から光学素子2を射出して光学素子1に向かう。

【0155】

光学素子1に向かった光は、S7から光学素子1に入射し、S6で反射し、その後S5(折り返し面)で反射し、S4で反射し、S3で反射し、S2から光学素子1を射出して射出瞳S1に導かれる。

面CおよびS9の反射と面Aにおいて内部全反射を行わない反射は、反射膜によ

る反射である。

【0156】

さらに、面Bには半透過反射膜（ハーフミラー）が形成されている。DOE面（C面）を反射面とすることで、効率良く諸収差を補正し、良好な光学性能を得ることができる。

【0157】

また、数値実施例1と同様に、本数値実施例6でも、光学素子1中に中間像が形成されている。

【0158】

本数値実施例6の長さのディメンジョンを有する数値をmmとして考えると、射出瞳径 $\phi 10\text{ mm}$ 、画像サイズ $10\text{ mm} \times 7.5\text{ mm}$ 程度で水平画角 50° の画像をz軸方向無限遠方に表示する表示光学系となる。

【0159】

また、本数値実施例の光学系は、数値実施例1の光学系と同様に、S1を撮像素子6の受光面とする撮像光学系として用いることもできる。

【0160】

[数値実施例7]

本発明の数値実施例7の断面図を図11に、光学データを表7に示す。本数値実施例7は、上記実施形態1、2に対応するものである。光学素子1は、内部が光学媒質で満たされたプリズム形状の透明体であり、折り返し面（面C）を含む3つの光学面A～Cを有する。

【0161】

S2, S4, S6は同一面（面A）であり、S5は面Cである。また、S3, S7は同一面（面B）である。S5は折り返し反射作用を持つ折り返し面である。

【0162】

第2の光学系は、内部が光学媒質で満たされたプリズム形状の透明体である光学素子2により構成されている。光学素子2は、回折光学面（DOE面）S9を含む3つの光学面S8, S9, S10を有する。

【0163】

これら全ての面は紙面（y z 断面）を唯一の対称面として持つ面对称形状を有している。

【0164】

本光学系を表示光学系として用いる場合において、S I を画像形成素子 3 の原画表示面とすると、S I からの光は S 10 から光学素子 2 に入射し、S 9 で裏面反射し、S 8 から光学素子 2 を射出して光学素子 1 に向かう。

光学素子 1 に向かった光は、S 7 から光学素子 1 に入射し、S 6 で反射し、その後 S 5（折り返し面）で反射し、S 4 で反射し、S 3 で反射し、S 2 から光学素子 1 を射出して射出瞳 S 1 に導かれる。

面 C および S 9 の反射と面 A において内部全反射を行わない反射は、反射膜による反射である。

【0165】

さらに、面 B には半透過反射膜（ハーフミラー）が形成されている。

DOE 面（S 9）を瞳結像位置の近傍に置く反射面とすることで、軸上色収差を効率良く抑制することができるだけでなく、諸収差を補正して良好な光学性能を得ることができる。

【0166】

また、数値実施例 1 と同様に、本数値実施例 7 でも、光学素子 1 中に中間像が形成されている。

【0167】

本数値実施例 6 の長さのディメンジョンを有する数値を mm として考えると、射出瞳径 $\phi 10\text{ mm}$ 、画像サイズ $10\text{ mm} \times 7.5\text{ mm}$ 程度で水平画角 50° の画像を z 軸方向無限遠方に表示する表示光学系となる。

また、本数値実施例の光学系は、数値実施例 1 の光学系と同様に、S I を撮像素子 6 の受光面とする撮像光学系として用いることもできる。

【0168】

〔数値実施例 8〕

本発明の数値実施例 8 の断面図を図 12 に、光学データを表 8 に示す。本数値

実施例 8 は、上記実施形態 1, 2 に対応するものである。光学素子 1 は、内部が光学媒質で満たされたプリズム形状の透明体であり、折り返し面（面 C）を含む 3 つの光学面 A ~ C を有する。

【0169】

S 2, S 4, S 6 は同一面（面 A）であり、S 5 は面 C である。また、S 3, S 7 は同一面（面 B）である。S 5 は折り返し反射作用を持つ折り返し面である。

第 2 の光学系は、内部が光学媒質で満たされたプリズム形状の透明体である光学素子 2 により構成されている。光学素子 2 は、回折光学面（DOE 面）S 9 を含む 3 つの光学面 S 8, S 9, S 10 を有する。

【0170】

これら全ての面は紙面（y z 断面）を唯一の対称面として持つ面对称形状を有している。

【0171】

本光学系を表示光学系として用いる場合において、S I を画像形成素子 3 の原面表示面とすると、S I からの光は S 10 から光学素子 2 に入射し、S 9 で裏面反射し、S 8 から光学素子 2 を射出して光学素子 1 に向かう。

光学素子 1 に向かった光は、S 7 から光学素子 1 に入射し、S 6 で反射し、その後 S 5（折り返し面）で反射し、S 4 で反射し、S 3 で反射し、S 2 から光学素子 1 を射出して射出瞳 S 1 に導かれる。

【0172】

面 C および S 9 における反射と面 A において内部全反射を行わない反射は、反射膜による反射である。

【0173】

さらに、面 B には半透過反射膜（ハーフミラー）が形成されている。DOE 面（S 9）を反射面とすることで、効率良く諸収差を補正し、良好な光学性能を得ることができる。

【0174】

また、数値実施例 1 と同様に、本数値実施例 8 でも、光学素子 1 中に中間像が

形成されている。

【0175】

本数値実施例 8 の長さのディメンジョンを有する数値を mm として考えると、射出瞳径 $\phi 10\text{ mm}$ 、画像サイズ $10\text{ mm} \times 7.5\text{ mm}$ 程度で水平画角 50° の画像を z 軸方向無限遠方に表示する表示光学系となる。

また、本数値実施例の光学系は、数値実施例 1 の光学系と同様に、S I を撮像素子 6 の受光面とする撮像光学系として用いることもできる。

【0176】

[数値実施例 9]

本発明の数値実施例 9 の断面図を図 13 に、光学データを表 9 に示す。本数値実施例 9 は、上記実施形態 1, 2 に対応するものである。光学素子 1 は、内部が光学媒質で満たされたプリズム形状の透明体であり、折り返し面（面 C）を含む 3 つの光学面 A ~ C を有する。

【0177】

S 2, S 4, S 6 は同一面（面 A）であり、S 5 は面 C である。また、S 3, S 7 は同一面（面 B）である。S 5 は折り返し反射作用を持つ折り返し面である。

【0178】

第 2 の光学系は、内部が光学媒質で満たされたプリズム形状の透明体である光学素子 2 により構成されている。光学素子 2 は、回折光学面（DOE 面）S 10 を含む 3 つの光学面 S 8, S 9, S 10 を有する。

【0179】

これら全ての面は紙面（y z 断面）を唯一の対称面として持つ面对称形状を有している。

【0180】

本光学系を表示光学系として用いる場合において、S I を画像形成素子 3 の原画表示面とすると、S I からの光は S 10 から光学素子 2 に入射し、S 9 で裏面反射し、S 8 から光学素子 2 を射出して光学素子 1 に向かう。

【0181】

光学素子 1 に向かった光は、S 7 から光学素子 1 に入射し、S 6 で反射し、その後 S 5（折り返し面）で反射し、S 4 で反射し、S 3 で反射し、S 2 から光学素子 1 を射出して射出瞳 S 1 に導かれる。面 C および S 9 での反射と面 A において内部全反射を行わない反射は、反射膜による反射である。

【0182】

さらに、面 B には半透過反射膜（ハーフミラー）が形成されている。DOE 面（S 10）を透過面とすることで、格子の溝を深くすることができるだけでなく、かつ寸法公差が緩いために、製造がし易い。また、数値実施例 1 と同様に、本数値実施例 9 でも、光学素子 1 中に中間像が形成されている。

【0183】

本数値実施例 9 の長さのディメンジョンを有する数値を mm として考えると、射出瞳径 $\phi 10$ mm、画像サイズ $12\text{ mm} \times 9\text{ mm}$ 程度で水平画角 50° の画像を z 軸方向無限遠方に表示する表示光学系となる。

【0184】

本数値実施例の光学系は、数値実施例 1 の光学系と同様に、S I を撮像素子 6 の受光面とする撮像光学系として用いることもできる。

【0185】

[数値実施例 10]

本発明の数値実施例 10 の断面図を図 14 に、光学データを表 10 に示す。本数値実施例 10 は、上記実施形態 1, 2 に対応するものである。光学素子 1 は、内部が光学媒質で満たされたプリズム形状の透明体であり、折り返し面（面 C）を含む 3 つの光学面 A ~ C を有する。

【0186】

S 2, S 4, S 6 は同一面（面 A）であり、S 5 は面 C である。また、S 3, S 7 は同一面（面 B）である。S 5 は折り返し反射作用を持つ折り返し面である。

【0187】

第 2 の光学系は、内部が光学媒質で満たされたプリズム形状の透明体である光学素子 2 により構成されている。光学素子 2 は、回折光学面（DOE 面）S 8 を

含む3つの光学面S8、S9、S10を有する。

【0188】

これら全ての面は紙面（yz断面）を唯一の対称面として持つ面对称形状を有している。

【0189】

本光学系を表示光学系として用いる場合において、SIを画像形成素子3の原画表示面とすると、SIからの光はS10から光学素子2に入射し、S9で裏面反射し、S8から光学素子2を射出して光学素子1に向かう。光学素子1に向かった光は、S7から光学素子1に入射し、S6で反射し、その後S5（折り返し面）で反射し、S4で反射し、S3で反射し、S2から光学素子1を射出して射出瞳S1に導かれる。

【0190】

面CおよびS9での反射と面Aにおいて内部全反射を行わない反射は、反射膜による反射である。

【0191】

さらに、面Bには半透過反射膜（ハーフミラー）が形成されている。DOE面（S8）を透過面とすることで、格子の溝を深くすることができだけでなく、かつ寸法公差が緩いために、製造がし易い。

【0192】

また、数値実施例1と同様に、本数値実施例10でも、光学素子1中に中間像が形成されている。

【0193】

本数値実施例10の長さのディメンジョンを有する数値をmmとして考えると、射出瞳径 ϕ 10mm、画像サイズ12mm×9mm程度で水平画角50°の画像をz軸方向無限遠方に表示する表示光学系となる。

【0194】

また、本数値実施例の光学系は、数値実施例1の光学系と同様に、SIを撮像素子6の受光面とする撮像光学系として用いることもできる。

【0195】

〔数値実施例 11〕

本発明の数値実施例 11 の断面図を図 15 に、光学データを表 11 に示す。本数値実施例 11 は、上記実施形態 1, 2 に対応するものである。光学素子 1 は、内部が光学媒質で満たされたプリズム形状の透明体であり、折り返し面（面 C）を含む 3 つの光学面 A ~ C を有する。

【0196】

S2, S4, S6 は同一面（面 A）であり、S5 は面 C である。また、S3, S7 は同一面（面 B）である。S5 は折り返し反射作用を持つ折り返し面である。

【0197】

第 2 の光学系 2 は、内部が光学媒質で満たされた平板状の透明体である光学素子 21” と、内部が光学媒質で満たされたプリズム形状の透明体である光学素子 22” とから構成されている。

【0198】

光学素子 21” は、回折光学面（DOE 面）である S8 と S9 とを有する。また、光学素子 22” は、3 つの光学面 S10、S11、S12 を有する。DOE 面 S8 の位相分布は回転対称である。

【0199】

これら全ての面は紙面（yz 断面）を唯一の対称面として持つ面対称形状を有している。

【0200】

本光学系を表示光学系として用いる場合において、SI を画像形成素子 3 の原画表示面とすると、SI からの光は S12 から光学素子 22” に入射し、S11 で裏面反射し、S10 から光学素子 22” を射出し、S9 から光学素子 21” に入射して S8 から射出し、光学素子 1 に向かう。

【0201】

光学素子 1 に向かった光は、S7 から光学素子 1 に入射し、S6 で反射し、その後 S5（折り返し面）で反射し、S4 で反射し、S3 で反射し、S2 から光学素子 1 を射出して射出瞳 S1 に導かれる。

面CおよびS11での反射と面Aにおいて内部全反射を行わない反射は、反射膜による反射である。

【0202】

さらに面Bには半透過反射膜（ハーフミラー）が形成されている。

【0203】

DOE面（S8）はベース面を平面とすることで、製造がし易くなり、さらにDOE面（S8）の位相分布を回転対称とすることで、加工精度を高くすることができる。

【0204】

また、数値実施例1と同様に、本数値実施例11でも、光学素子1中に中間像が形成されている。

【0205】

本数値実施例11の長さのディメンジョンを有する数値をmmとして考えると、射出瞳径 ϕ 10mm、画像サイズ10mm×7.5mm程度で水平画角50°の画像をz軸方向無限遠方に表示する表示光学系となる。

【0206】

また、本数値実施例の光学系は、数値実施例1の光学系と同様に、S1を撮像素子6の受光面とする撮像光学系として用いることもできる。

【0207】

[数値実施例12]

本発明の数値実施例12の断面図を図16に、光学データを表12に示す。本数値実施例12は、上記実施形態1, 2に対応するものである。光学素子1は、内部が光学媒質で満たされたプリズム形状の透明体であり、折り返し面（面C）を含む3つの光学面A～Cを有する。

【0208】

S2, S4, S6は同一面（面A）であり、S5は面Cである。また、S3, S7は同一面（面B）である。S5は折り返し反射作用を持つ折り返し面である。

第2の光学系2は、内部が光学媒質で満たされた平板状の透明体である光学素子

21”と、内部が光学媒質で満たされたプリズム形状の透明体である光学素子22”とから構成されている。

【0209】

光学素子21”は、回折光学面（DOE面）であるS8とS9とを有する。また、光学素子22”は、3つの光学面S10、S11、S12を有する。DOE面S8の位相分布は回転非対称である。

これら全ての面は紙面（yz断面）を唯一の対称面として持つ面对称形状を有している。

【0210】

本光学系を表示光学系として用いる場合において、SIを画像形成素子3の原画表示面とすると、SIからの光はS12から光学素子22”に入射し、S11で裏面反射し、S10から光学素子22”を射出し、S9から光学素子21”に入射してS8から射出し、光学素子1に向かう。光学素子1に向かった光は、S7から光学素子1に入射し、S6で反射し、その後S5（折り返し面）で反射し、S4で反射し、S3で反射し、S2から光学素子1を射出して射出瞳S1に導かれる。

【0211】

面CおよびS11での反射と面Aにおいて内部全反射を行わない反射は、反射膜による反射である。

【0212】

さらに面Bには半透過反射膜（ハーフミラー）が形成されている。DOE面（S8）はベース面を平面とすることで、製造がし易くなり、さらにDOE面（S8）の位相分布を回転非対称とすることで諸収差を良好に補正することができる。

【0213】

また、数値実施例1と同様に、本数値実施例12でも、光学素子1中に中間像が形成されている。

【0214】

本数値実施例12の長さのディメンジョンを有する数値をmmとして考えると

、射出瞳径 $\phi 10\text{ mm}$ 、画像サイズ $10\text{ mm} \times 7.5\text{ mm}$ 程度で水平画角 50° の画像を z 軸方向無限遠方に表示する表示光学系となる。

【0215】

また、本数値実施例の光学系は、数値実施例 1 の光学系と同様に、S I を撮像素子 6 の受光面とする撮像光学系として用いることもできる。

【0216】

また、上記各実施形態は本発明を実施した場合の例に過ぎず、本発明は上記各実施形態に様々な変更や改良が加えられて実施されるものである。

【0217】

【表 1】

<表 1>

SURF	X	Y	Z	A	R	TYP	Nd	vd
1	0.000	0.000	0.000	0.000	∞	SPH	1.0000	
2	0.000	3.815	21.782	4.736	-591.1948	FFS1	1.5709	33.8
3	0.000	5.507	32.927	-20.813	-71.9735	FFS2	-1.5709	33.8
4	0.000	3.815	21.782	4.736	-591.1948	FFS1	1.5709	33.8
5	0.000	23.444	35.101	29.209	130.2752	DOE	-1.5709	33.8
6	0.000	3.815	21.782	4.736	-591.1948	FFS1	1.5709	33.8
7	0.000	23.444	35.101	29.209	130.2752	DOE	-1.5709	33.8
8	0.000	3.815	21.782	4.736	-591.1948	FFS1	1.5709	33.8
9	0.000	5.507	32.927	-20.813	-71.9735	FFS2	1.0000	
10	0.000	1.743	34.467	-53.624	20.6565	FFS3	1.5709	33.8
11	0.000	-5.182	40.856	-49.176	-26.5474	FFS4	1.0000	
12	0.000	-12.464	38.379	-53.673	15.8253	FFS5	1.5709	33.8
13	0.000	-19.026	44.459	-62.437	-14.1719	FFS6	1.0000	
1	0.000	-23.456	46.771	-69.225	∞	SPH	1.0000	
FFS1 k:2.0513e+002 c 5:-3.5191e-003 c 6:-1.8193e-003 c10:2.2970e-005								
c11:1.9187e-005 c12:2.6224e-007 c13:9.8262e-008 c14:1.1735e-007								
FFS2 k:-5.2786e+000 c 5:-1.8223e-003 c 6:2.9957e-004 c10:1.6362e-005								
c11:1.5082e-005 c12:6.1992e-008 c13:2.2210e-007 c14:-2.8698e-007								
FFS3 k:-4.1282e-001 c 5:1.9701e-003 c 6:2.0863e-003 c10:-2.1866e-004								
c11:6.5644e-005 c12:8.7286e-007 c13:-5.4050e-006 c14:-1.1442e-005								
FFS4 k:-1.2064e+001 c 5:1.6019e-003 c 6:-2.2853e-003 c10:1.4231e-004								
c11:-7.4927e-005 c12:3.2044e-006 c13:-1.6219e-005 c14:1.9174e-006								
FFS5 k:-2.3376e+000 c 5:1.1449e-003 c 6:4.6690e-003 c10:8.4970e-005								
c11:-1.6848e-004 c12:-1.4690e-005 c13:2.6631e-005 c14:-7.5778e-006								
FFS6 k:-1.0077e+001 c 5:1.1093e-002 c 6:-3.7213e-003 c10:-2.9661e-004								
c11:1.9758e-004 c12:-9.3602e-006 c13:4.7530e-006 c14:-2.6257e-006								
DOE RDX: -82.7100								
c 3:7.5711e-003 c 5:1.4625e-002 c 7:-1.6368e-004 c 9:-1.8620e-004								
c10:3.3562e-006 c12:-9.1350e-006 c14:-9.2010e-006 c16:1.7604e-007								
c18:9.2676e-008 c20:-6.1994e-007 c21:-2.2531e-008 c23:-9.2980e-009								
c25:2.0598e-008 c27:2.6539e-008								
ry: 130.2752 rx: -82.7100								
ry/rx = -1.57508								

【0 2 1 8】

【表 2】

<表 2>

SURF	X	Y	Z	A	R	TYP	Nd	vd
1	0.000	0.000	0.000	0.000	∞	SPH	1.0000	
2	0.000	-8.319	22.558	2.423	-135.9684	FFS1	1.5709	33.8
3	0.000	-5.001	32.009	-24.881	-57.5562	FFS2	-1.5709	33.8
4	0.000	-8.319	22.558	2.423	-135.9684	FFS1	1.5709	33.8
5	0.000	14.525	41.644	25.350	-110.6239	FFS3	-1.5709	33.8
6	0.000	-8.319	22.558	2.423	-135.9684	FFS1	1.5709	33.8
7	0.000	14.525	41.644	25.350	-110.6239	FFS3	-1.5709	33.8
8	0.000	-8.319	22.558	2.423	-135.9684	FFS1	1.5709	33.8
9	0.000	-5.001	32.009	-24.881	-57.5562	FFS2	1.0000	
10	0.000	-12.377	29.693	-46.248	13.2222	DOE	1.5709	33.8
11	0.000	-9.464	41.343	-25.291	-123.6260	FFS4	-1.5709	33.8
12	0.000	-13.869	28.451	-2.707	16.4755	FFS5	-1.0000	
1	0.000	-13.530	21.279	2.666	∞	SPH	-1.0000	
FFS1 k:-3.7175e-001 c 5:-2.6891e-003 c 6:-2.8038e-004 c10:6.5986e-007								
c11:-1.4493e-005 c12:-1.4309e-007 c13:-1.1840e-007 c14:-1.8678e-008								
FFS2 k:-8.7330e-001 c 5:-1.2109e-003 c 6:7.3874e-004 c10:-3.0650e-006								
c11:-1.7408e-006 c12:-1.9379e-008 c13:-9.5094e-008 c14:9.0863e-008								
FFS3 k:3.7687e-001 c 5:-1.9039e-003 c 6:-4.2267e-004 c10:3.2470e-006								
c11:-1.9590e-005 c12:6.4839e-008 c13:-1.6294e-007 c14:6.3927e-008								
FFS4 k:-1.7632e+001 c 5:-2.0510e-003 c 6:-1.2834e-004 c10:2.3088e-005								
c11:2.3687e-005 c12:1.2822e-006 c13:1.4249e-006 c14:3.3494e-007								
FFS5 k:-8.0457e-001 c 5:-2.4195e-003 c 6:-5.5023e-003 c10:-2.9717e-004								
c11:-3.1674e-004 c12:1.0001e-005 c13:-7.1488e-007 c14:-1.4899e-005								
DOE RDX: 14.8582								
c 3:3.3651e-003 c 5:8.4527e-004 c 7:9.5457e-004 c 9:7.4535e-004								
c10:-4.1787e-005 c12:-1.1579e-004 c14:-4.0035e-005 c16:1.7368e-006								
c18:3.5161e-006 c20:-8.4464e-007 c21:-2.8283e-008 c23:-2.4398e-007								
c25:-3.0700e-007 c27:-2.7029e-008								
ry: 13.2222 rx: 14.8582								
ry/rx = 0.889892								

【0 2 1 9】

【表 3】

<表 3>

SURF	X	Y	Z	A	R	TYP	Nd	vd
1	0.000	0.000	0.000	0.000	∞	SPH	1.0000	
2	0.000	-10.839	25.216	1.181	-151.5980	FFS1	1.5709	33.8
3	0.000	-3.645	34.315	-26.716	-60.5731	FFS2	-1.5709	33.8
4	0.000	-10.839	25.216	1.181	-151.5980	FFS1	1.5709	33.8
5	0.000	6.122	48.364	20.342	-104.1369	FFS3	-1.5709	33.8
6	0.000	-10.839	25.216	1.181	-151.5980	FFS1	1.5709	33.8
7	0.000	6.122	48.364	20.342	-104.1369	FFS3	-1.5709	33.8
8	0.000	-10.839	25.216	1.181	-151.5980	FFS1	1.5709	33.8
9	0.000	-3.645	34.315	-26.716	-60.5731	FFS2	1.0000	
10	0.000	-13.508	31.064	-55.926	13.7286	FFS4	1.5709	33.8
11	0.000	-15.776	49.699	-40.658	-79.0781	DOE	-1.5709	33.8
12	0.000	-15.118	29.092	-40.287	13.8402	FFS5	-1.0000	
1	0.000	-12.417	25.905	-31.729	∞	SPH	-1.0000	
FFS1 k:-1.6187e+001 c 5:-3.2779e-003 c 6:-2.4473e-004 c10:-1.6168e-006								
c11:7.9730e-006 c12:9.7756e-008 c13:-1.2877e-007 c14:-4.2656e-008								
FFS2 k:-3.2694e-001 c 5:-1.0317e-003 c 6:7.8838e-004 c10:4.3191e-006								
c11:4.6271e-006 c12:8.0559e-008 c13:-8.6819e-008 c14:1.0100e-007								
FFS3 k:-9.3564e-001 c 5:-9.5414e-004 c 6:-6.9472e-004 c10:1.9612e-005								
c11:1.8169e-007 c12:4.0128e-007 c13:-1.1332e-007 c14:-1.2361e-008								
FFS4 k:-9.9112e-001 c 5:-5.7145e-003 c 6:-3.4839e-003 c10:1.4944e-004								
c11:-1.1129e-005 c12:-2.3097e-006 c13:1.7453e-006 c14:-2.7094e-006								
FFS5 k:1.1339e-001 c 5:1.0683e-002 c 6:-6.0148e-003 c10:-6.9559e-004								
c11:8.0207e-004 c12:-4.8189e-005 c13:2.3207e-005 c14:-2.3276e-005								
DOE RDX: -47.3876								
c 3:-3.9644e-003 c 5:-3.5756e-003 c 7:-1.7891e-004 c 9:-7.6612e-006								
c10:-4.6138e-005 c12:2.6998e-005 c14:3.1750e-006 c16:-5.8261e-006								
c18:-1.3849e-006 c20:-2.2456e-007 c21:-1.3260e-008 c23:-3.8670e-007								
c25:-1.1152e-007 c27:-8.0211e-009								
ry: -79.0781 rx: -47.3876								
ry/rx = 1.668751								

【0 2 2 0】

【表 4】

<表 4>

SURF	X	Y	Z	A	R	TYP	Nd	vd
1	0.000	0.000	0.000	0.000	∞	SPH	1.0000	
2	0.000	0.604	23.830	8.861	-365.6785	FFS1	1.5709	33.8
3	0.000	1.114	37.011	-16.177	-96.5047	FFS2	-1.5709	33.8
4	0.000	0.604	23.830	8.861	-365.6785	FFS1	1.5709	33.8
5	0.000	26.382	36.165	31.979	-166.4267	FFS3	-1.5709	33.8
6	0.000	0.604	23.830	8.861	-365.6785	FFS1	1.5709	33.8
7	0.000	26.382	36.165	31.979	-166.4267	FFS3	-1.5709	33.8
8	0.000	0.604	23.830	8.861	-365.6785	FFS1	1.5709	33.8
9	0.000	1.114	37.011	-16.177	-96.5047	FFS2	1.0000	
10	0.000	-8.333	35.659	-47.065	17.5153	FFS4	1.5709	33.8
11	0.000	8.004	43.295	-6.070	845.0365	FFS5	-1.5709	33.8
12	0.000	-9.011	28.893	14.999	57.2825	DOE	1.5709	33.8
13	0.000	8.004	43.295	-6.070	845.0364	FFS5	1.0000	
1	0.000	-7.987	44.425	22.013	∞	SPH	1.0000	

FFS1	k:8.3326e+001	c 5:-6.2213e-004	c 6:3.3469e-004	c10:5.0605e-006
	c11:-1.5352e-006	c12:3.1156e-007	c13:8.5242e-008	c14:5.2947e-008
FFS2	k:-1.2060e+000	c 5:1.3742e-004	c 6:-2.0637e-004	c10:-2.2680e-006
	c11:-6.2732e-006	c12:1.4769e-007	c13:7.0448e-008	c14:4.2680e-008
FFS3	k:-7.7330e+000	c 5:-2.1564e-003	c 6:1.4469e-004	c10:3.3743e-006
	c11:-1.9483e-005	c12:7.7684e-008	c13:3.0035e-007	c14:-1.6260e-007
FFS4	k:-3.3203e+000	c 5:-5.5176e-003	c 6:2.6299e-004	c10:6.9607e-005
	c11:-7.5531e-005	c12:1.3678e-006	c13:-4.4180e-006	c14:1.8681e-006
FFS5	k:-8.3726e+001	c 5:2.2429e-004	c 6:2.0466e-004	c10:-1.6778e-006
	c11:-2.7590e-006	c12:-2.2380e-007	c13:-5.4560e-008	c14:4.3814e-008

DOE	RDx: 37.6964			
	c 3:2.0912e-003	c 5:-5.2286e-003	c 7:-2.6534e-005	c 9:-3.4283e-004
	c10:8.0727e-007	c12:-1.7135e-005	c14:-1.5715e-005	c16:5.2983e-008
	c18:-1.2166e-006	c20:-6.8782e-007	c21:-1.5022e-009	c23:5.5936e-009
	c25:-2.2708e-008	c27:-1.2414e-008		

ry: 57.2825 rx: 37.6964
 | ry/rx | = 1.519575

【0 2 2 1】

【表 5】

<表 5>

SURF	X	Y	Z	A	R	TYP	Nd	vd
1	0.000	0.000	0.000	0.000	∞	SPH	1.0000	
2	0.000	-4.712	23.049	8.715	-408.6169	FFS1	1.5709	33.8
3	0.000	-6.088	29.511	-24.680	-66.8857	FFS2	-1.5709	33.8
4	0.000	-4.712	23.049	8.715	-408.6169	FFS1	1.5709	33.8
5	0.000	27.985	32.090	30.623	-186.5710	FFS3	-1.5709	33.8
6	0.000	-4.712	23.049	8.715	-408.6169	FFS1	1.5709	33.8
7	0.000	27.985	32.090	30.623	-186.5710	FFS3	-1.5709	33.8
8	0.000	-4.712	23.049	8.715	-408.6169	FFS1	1.5709	33.8
9	0.000	-6.088	29.511	-24.680	-66.8857	FFS2	1.5709	33.8
10	0.000	-12.570	27.905	-48.339	-23.1433	FFS4	1.0000	
11	0.000	-16.280	33.625	-46.455	16.1299	DOE	1.5709	33.8
12	0.000	-28.554	41.209	-64.108	-25.1119	FFS5	1.0000	
1	0.000	-35.795	44.724	-61.728	∞	SPH	1.0000	

FFS1	k:1.3043e+000	c 5:-3.7351e-003	c 6:-4.3116e-004	c10:-1.2066e-006
	c11:-7.0619e-006	c12:4.4430e-008	c13:-1.1218e-007	c14:-7.6300e-008
FFS2	k:-4.3357e+000	c 5:-2.8248e-003	c 6:1.2570e-004	c10:-1.7618e-005
	c11:7.2567e-006	c12:8.6173e-008	c13:1.1782e-008	c14:-6.8840e-009
FFS3	k:-1.1492e+002	c 5:-4.6403e-003	c 6:-2.4881e-004	c10:2.1338e-005
	c11:-5.6306e-005	c12:4.9787e-007	c13:-3.9692e-007	c14:-8.5655e-008
FFS4	k:-5.0682e+000	c 5:-1.2046e-002	c 6:1.3592e-003	c10:-3.7197e-004
	c11:8.9028e-005	c12:-3.9228e-007	c13:-9.4258e-007	c14:3.1679e-006
FFS5	k:-1.8125e+000	c 5:-2.0856e-003	c 6:5.0901e-004	c10:-2.5523e-004
	c11:6.8935e-005	c12:1.2536e-006	c13:-3.2072e-006	c14:9.0783e-006

DOE	RDx: 15.3424			
	c 3:2.9102e-003	c 5:2.7539e-003	c 7:-1.6428e-004	c 9:-2.1512e-005
	c10:1.9847e-005	c12:2.8404e-005	c14:3.0684e-006	c16:2.1420e-006
	c18:2.5836e-006	c20:4.1368e-007	c21:-1.7703e-007	c23:-4.3726e-007
	c25:-2.7746e-007	c27:-2.7388e-008		

ry: 16.1299 rx: 15.3424

| ry/rx | = 1.051328

【 0 2 2 2 】

【表 6】

〈表 6〉

SURF	X	Y	Z	A	R	TYP	Nd	vd
1	0.000	0.000	0.000	0.000	∞	SPH	1.0000	
2	0.000	-2.633	20.688	-0.881	-338.9521	FFS1	1.5709	33.8
3	0.000	-4.843	33.459	-25.562	-72.0739	FFS2	-1.5709	33.8
4	0.000	-2.633	20.688	-0.881	-338.9521	FFS1	1.5709	33.8
5	0.000	18.925	40.810	43.743	-178.1984	DOE	-1.5709	33.8
6	0.000	-2.633	20.688	-0.881	-338.9521	FFS1	1.5709	33.8
7	0.000	-4.843	33.459	-25.562	-72.0739	FFS2	1.0000	
8	0.000	-12.156	32.361	-63.209	15.5951	FFS3	1.5709	33.8
9	0.000	-23.072	36.571	-43.394	-45.9970	FFS4	-1.5709	33.8
10	0.000	-26.400	26.446	-4.483	29.1952	FFS5	-1.0000	
11	0.000	-25.674	17.182	-30.234	∞	SPH	-1.0000	

FFS1 k:8.4294e+001 c 5:-1.3632e-003 c 6:1.5547e-005 c10:-5.3731e-006
c11:5.1856e-006 c12:-1.7214e-007 c13:-1.4542e-007 c14:-1.1147e-008

FFS2 k:1.2462e+000 c 5:1.4787e-004 c 6:1.2592e-004 c10:-8.2230e-006
c11:3.2147e-006 c12:-1.2239e-007 c13:-8.1086e-008 c14:1.1905e-007

FFS3 k:-8.4686e-001 c 5:-2.4786e-003 c 6:-4.2110e-004 c10:1.2245e-005
c11:-2.1634e-004 c12:4.3959e-006 c13:5.0327e-006 c14:-1.6255e-005

FFS4 k:-2.6148e+000 c 5:-1.5913e-003 c 6:-6.7071e-004 c10:-5.5366e-006
c11:-6.5752e-005 c12:1.4738e-006 c13:2.7919e-006 c14:7.4486e-007

FFS5 k:-2.1813e+000 c 5:1.2306e-002 c 6:-2.8726e-003 c10:-9.3725e-005
c11:2.1583e-005 c12:-1.8921e-005 c13:-4.8306e-006 c14:4.2891e-006

DOE RDX: -87.8762
c 3:8.2233e-004 c 5:4.2038e-003 c 7:5.6169e-006 c 9:8.9910e-007
c10:-1.6100e-006 c12:1.2507e-005 c14:-9.4524e-006 c16:2.7284e-007
c18:8.6595e-007 c20:-1.4472e-007 c21:2.2468e-010 c23:-3.0748e-008
c25:-7.2381e-008 c27:1.6602e-008

ry: -178.1984 rx: -87.8762
| ry/rx | = 2.027835

【0 2 2 3】

【表 7】

<表 7>

SURF	X	Y	Z	A	R	TYP	Nd	vd
1	0.000	0.000	0.000	0.000	∞	SPH	1.0000	
2	0.000	-5.115	23.410	5.498	-184.6585	FFS1	1.5709	33.8
3	0.000	-3.582	33.687	-19.930	-55.8586	FFS2	-1.5709	33.8
4	0.000	-5.115	23.410	5.498	-184.6585	FFS1	1.5709	33.8
5	0.000	14.588	44.356	50.687	-197.3319	FFS3	-1.5709	33.8
6	0.000	-5.115	23.410	5.498	-184.6585	FFS1	1.5709	33.8
7	0.000	-3.582	33.687	-19.930	-55.8586	FFS2	1.0000	
8	0.000	-6.418	37.997	-58.741	20.6653	FFS4	1.5709	33.8
9	0.000	-27.276	39.073	-43.869	-41.8268	DOE	-1.5709	33.8
10	0.000	-36.997	23.525	6.386	27.2248	FFS5	-1.0000	
1	0.000	-37.930	15.193	-16.170	∞	SPH	-1.0000	
FFS1 k:1.0945e+001 c 5:-2.3269e-003 c 6:-5.6688e-004 c10:-2.4295e-005								
c11:-4.4611e-005 c12:4.6429e-007 c13:-3.2117e-007 c14:7.8959e-008								
FFS2 k:-3.4095e+000 c 5:-1.3883e-003 c 6:-1.2144e-004 c10:6.5084e-007								
c11:-1.7824e-005 c12:-1.0641e-007 c13:-1.2456e-007 c14:-1.7628e-007								
FFS3 k:1.5360e+001 c 5:-5.3772e-004 c 6:-6.2238e-005 c10:-3.2826e-005								
c11:-1.9615e-005 c12:1.3247e-006 c13:-1.7098e-007 c14:2.6970e-007								
FFS4 k:5.7017e-002 c 5:8.4410e-003 c 6:-6.8462e-003 c10:-4.9924e-004								
c11:1.8082e-004 c12:2.3643e-006 c13:4.9810e-006 c14:-6.8786e-006								
FFS5 k:-2.7103e-001 c 5:9.7920e-003 c 6:-2.6454e-003 c10:1.4333e-005								
c11:5.6119e-004 c12:3.9908e-006 c13:-4.8649e-007 c14:2.2789e-006								
DOE RDX: -40.3325								
c 3:2.8829e-003 c 5:2.1629e-003 c 7:2.7375e-004 c 9:3.9101e-005								
c10:-4.0313e-005 c12:-9.6246e-005 c14:-1.2085e-005 c16:3.9079e-006								
c18:6.6074e-006 c20:2.1120e-007 c21:2.9389e-009 c23:-1.5837e-007								
c25:-1.5321e-007 c27:9.7335e-009								
ry: -41.8268 rx: -40.3325								
ry/rx = -1.03705								

【0 2 2 4】

【表 8】

<表 8>

SURF	X	Y	Z	A	R	TYP	Nd	vd
1	0.000	0.000	0.000	0.000	∞	SPH	1.0000	
2	0.000	-0.408	20.379	5.865	578.2431	FFS1	1.5709	33.8
3	0.000	0.842	34.287	-19.611	-90.1582	FFS2	-1.5709	33.8
4	0.000	-0.408	20.379	5.865	578.2431	FFS1	1.5709	33.8
5	0.000	23.304	39.329	53.210	-170.0605	FFS3	-1.5709	33.8
6	0.000	-0.408	20.379	5.865	578.2431	FFS1	1.5709	33.8
7	0.000	0.842	34.287	-19.611	-90.1582	FFS2	1.0000	
8	0.000	-10.049	31.726	-48.082	14.4589	FFS4	1.5709	33.8
9	0.000	-17.451	47.618	-83.542	-87.6263	DOE	-1.5709	33.8
10	0.000	-5.557	18.515	-66.907	20.0861	FFS5	-1.0000	
11	0.000	4.870	14.068	-106.260	∞	SPH	-1.0000	
FFS1 k:-4.6097e+003 c 5:-5.3858e-004 c 6:5.5225e-004 c10:9.0904e-006								
c11:1.6069e-006 c12:2.4174e-007 c13:-9.3697e-008 c14:1.8977e-008								
FFS2 k:-1.3593e+001 c 5:-7.2049e-004 c 6:-3.7191e-004 c10:-5.1672e-006								
c11:5.0850e-007 c12:8.4632e-008 c13:6.9023e-008 c14:-1.3592e-007								
FFS3 k:6.2796e+001 c 5:-3.0726e-003 c 6:1.0726e-003 c10:-1.1546e-004								
c11:8.9877e-005 c12:3.0675e-006 c13:-4.2711e-006 c14:3.4986e-006								
FFS4 k:-1.0152e+000 c 5:1.7158e-003 c 6:-2.2606e-003 c10:1.6643e-004								
c11:1.5547e-005 c12:6.7787e-007 c13:8.2289e-007 c14:-7.9604e-006								
FFS5 k:-1.0295e+000 c 5:3.3092e-002 c 6:3.6041e-003 c10:1.4961e-004								
c11:4.7314e-004 c12:2.9389e-005 c13:-1.8310e-005 c14:-1.7204e-006								
DOE RDX: -51.5121								
c 3:1.8437e-003 c 5:-8.0939e-003 c 7:-4.5922e-004 c 9:-6.4353e-004								
c10:2.6680e-005 c12:-5.2161e-005 c14:-1.3631e-005 c16:6.5946e-006								
c18:-1.6021e-006 c20:4.6260e-007 c21:1.0683e-007 c23:3.1145e-007								
c25:1.3755e-008 c27:2.0456e-008								
ry: -87.6263 rx: -51.5121								
ry/rx = 1.701082								

【0 2 2 5】

【表 9】

<表 9>

SURF	X	Y	Z	A	R	TYP	Nd	vd
1	0.000	0.000	0.000	0.000	∞	SPH	1.0000	
2	0.000	-3.961	21.702	6.220	-4779.5578	FFS1	1.5709	33.8
3	0.000	-3.804	32.408	-20.824	-81.6926	FFS2	-1.5709	33.8
4	0.000	-3.961	21.702	6.220	-4779.5578	FFS1	1.5709	33.8
5	0.000	18.242	37.190	51.646	-136.2848	FFS3	-1.5709	33.8
6	0.000	-3.961	21.702	6.220	-4779.5578	FFS1	1.5709	33.8
7	0.000	-3.804	32.408	-20.824	-81.6926	FFS2	1.0000	
8	0.000	-9.773	33.475	-54.648	14.6031	FFS4	1.5709	33.8
9	0.000	-18.608	37.561	-91.484	-71.2471	FFS5	-1.5709	33.8
10	0.000	-3.756	22.023	-79.562	24.1970	DOE	-1.0000	
1	0.000	10.930	19.317	-110.957	∞	SPH	1.0000	
FFS1 k:1.9718e+003 c 5:4.8413e-004 c 6:6.7949e-004 c10:1.3745e-005								
c11:-8.7909e-007 c12:2.1191e-008 c13:-1.6838e-007 c14:1.5668e-008								
FFS2 k:2.3455e+000 c 5:-6.4647e-004 c 6:-2.0767e-004 c10:-1.2851e-006								
c11:-2.9647e-006 c12:-8.3261e-008 c13:2.2815e-007 c14:1.6870e-007								
FFS3 k:-3.3795e+000 c 5:-6.6526e-004 c 6:1.8088e-004 c10:-5.4426e-005								
c11:7.2968e-005 c12:4.1099e-006 c13:-6.2323e-006 c14:4.0645e-006								
FFS4 k:-7.6307e-001 c 5:2.2547e-003 c 6:-4.6245e-003 c10:5.4318e-005								
c11:-8.8129e-006 c12:3.5757e-006 c13:3.0088e-006 c14:-8.5676e-006								
FFS5 k:-3.5015e+001 c 5:-1.0345e-003 c 6:1.6884e-004 c10:3.1773e-005								
c11:-1.5889e-005 c12:1.0354e-006 c13:7.2954e-007 c14:-8.3935e-007								
DOE RDX: 30.6667								
c 3:7.5857e-003 c 5:-6.8457e-003 c 7:1.5547e-004 c 9:1.2062e-004								
c10:-3.8031e-005 c12:-5.1649e-006 c14:8.8630e-006 c16:-1.3128e-007								
c18:-5.2502e-007 c20:2.0541e-007 c21:-4.9306e-008 c23:9.8305e-008								
c25:1.6534e-009 c27:-1.2109e-008								
ry: 24.1970 rx: 30.6667								
ry/rx = 0.789032								

【0226】

【表 10】

<表 10>

SURF	X	Y	Z	A	R	TYP	Nd	vd
1	0.000	0.000	0.000	0.000	∞	SPH	1.0000	
2	0.000	3.932	19.915	4.872	609.1991	FFS1	1.5709	33.8
3	0.000	2.059	34.475	-19.066	-85.4128	FFS2	-1.5709	33.8
4	0.000	3.932	19.915	4.872	609.1991	FFS1	1.5709	33.8
5	0.000	26.525	36.018	51.848	-271.2322	FFS3	-1.5709	33.8
6	0.000	3.932	19.915	4.872	609.1991	FFS1	1.5709	33.8
7	0.000	2.059	34.475	-19.066	-85.4128	FFS2	1.0000	
8	0.000	-18.182	24.748	-27.929	23.7590	DOE	1.5300	55.8
9	0.000	-20.352	36.230	-93.007	-46.5501	FFS4	-1.5300	55.8
10	0.000	0.046	28.018	-73.101	17.3086	FFS5	-1.0000	
1	0.000	9.508	25.143	-113.952	∞	SPH	1.0000	
FFS1	k:-2.8051e+003		c 5:7.3888e-005		c 6:8.9521e-004		c10:1.1406e-005	
	c11:-4.8935e-006		c12:1.0581e-007		c13:-2.1568e-007		c14:4.9113e-008	
FFS2	k:-1.0039e+001		c 5:-9.5847e-004		c 6:-3.8488e-004		c10:-5.3776e-006	
	c11:-6.0138e-006		c12:5.2225e-008		c13:1.2070e-007		c14:-3.0693e-008	
FFS3	k:3.8005e+001		c 5:-2.1540e-003		c 6:7.9897e-004		c10:1.4213e-004	
	c11:-8.6853e-005		c12:3.0070e-006		c13:-3.7642e-006		c14:2.6316e-006	
FFS4	k:-6.7485e-001		c 5:-1.8836e-003		c 6:1.8739e-003		c10:-2.0287e-005	
	c11:-8.7526e-006		c12:6.3680e-007		c13:-1.5862e-007		c14:1.8720e-007	
FFS5	k:-3.2038e-001		c 5:-4.5885e-002		c 6:1.3315e-003		c10:2.2299e-004	
	c11:-3.5473e-004		c12:1.4737e-006		c13:1.5433e-005		c14:-8.4510e-006	
DOE	RDX: 23.0000							
	c 3:-2.0334e-003		c 5:3.6909e-004		c 7:7.3515e-004		c 9:3.1192e-004	
	c10:-2.7016e-006		c12:-5.0634e-005		c14:-4.3568e-005		c16:2.3297e-007	
	c18:2.4112e-006		c20:2.9669e-006		c21:-2.2403e-008		c23:-3.7317e-008	
	c25:-7.2909e-008		c27:-7.2119e-008					
	ry: 23.7590		rx: 23.0000					
	ry/rx = 1.033							

【0227】

【表 11】

<表 11>

SURF	X	Y	Z	A	R	TYP	Nd	vd
1	0.000	0.000	0.000	0.000	∞	SPH	1.0000	0.0
2	0.000	-3.223	20.402	0.681	-328.3443	FFS1	1.5745	33.8
3	0.000	-4.436	29.715	-27.347	-64.1323	FFS2	-1.5745	33.8
4	0.000	-3.223	20.402	0.681	-328.3443	FFS1	1.5745	33.8
5	0.000	14.561	39.055	48.134	-170.6411	FFS3	-1.5745	33.8
6	0.000	-3.223	20.402	0.681	-328.3443	FFS3	1.5745	33.8
7	0.000	-4.436	29.715	-27.347	-64.1323	FFS2	1.0000	
8	0.000	-4.799	30.417	-31.833	∞	DOE	1.5745	33.8
9	0.000	-5.327	31.267	-31.833	∞	SPH	1.0000	
10	0.000	-10.108	33.357	-60.862	14.6905	FFS4	1.5745	33.8
11	0.000	-19.168	37.670	-97.429	-71.0571	FFS5	-1.5745	33.8
12	0.000	-3.501	27.925	-80.863	20.7364	FFS6	-1.0000	
1	0.000	8.929	25.925	-120.181	∞	SPH	-1.0000	0.0
FFS1	k :3.9271e+001		c 5:5.1808e-005		c 6:3.3641e-004		c10:7.1644e-006	
	c11:-7.6390e-006		c12:-1.0950e-008		c13:-2.3860e-007		c14:-1.2554e-008	
FFS2	k :1.0853e+000		c 5:-5.6219e-004		c 6:-4.2695e-004		c10:-8.7997e-006	
	c11:-8.5128e-006		c12:-7.5498e-008		c13:1.6377e-007		c14:1.9831e-007	
FFS3	k :-1.2146e+001		c 5:-3.2362e-003		c 6:9.7296e-005		c10:-1.4916e-004	
	c11:1.3917e-004		c12:2.3988e-006		c13:-3.2891e-006		c14:2.4709e-006	
FFS4	k :-1.0734e+000		c 5:3.8363e-003		c 6:-2.5533e-003		c10:2.3884e-004	
	c11:-4.8940e-006		c12:-1.3678e-006		c13:9.9942e-006		c14:-1.4491e-005	
FFS5	k :-2.2443e+001		c 5:-2.3071e-004		c 6:1.8413e-005		c10:1.7828e-005	
	c11:6.2472e-006		c12:6.5218e-007		c13:1.1340e-006		c14:-1.0444e-006	
FFS6	k :-8.3695e-001		c 5:7.5828e-003		c 6:1.8588e-003		c10:9.6469e-005	
	c11:-1.4635e-004		c12:-2.6591e-006		c13:-6.3139e-006		c14:1.3123e-006	
DOE	RDX: ∞							
	c 3:7.3252e-003		c 5:7.3252e-003		c10:1.6381e-005		c12:3.2763e-005	
	c14:1.6381e-005							
	ry: ∞ rx: ∞							
	ry/rx = 1							

【0 2 2 8】

【表 1 2】

<表 1 2>

SURF	X	Y	Z	A	R	TYP	Nd	vd
1	0.000	0.000	0.000	0.000	∞	SPH	1.0000	0.0
2	0.000	-2.121	20.449	-0.153	-333.9006	FFS1	1.5745	33.8
3	0.000	-2.681	32.058	-24.314	-66.4550	FFS2	-1.5745	33.8
4	0.000	-2.121	20.449	-0.153	-333.9006	FFS1	1.5745	33.8
5	0.000	15.366	39.881	46.343	-218.8076	FFS3	-1.5745	33.8
6	0.000	-2.121	20.449	-0.153	-333.9006	FFS3	1.5745	33.8
7	0.000	-2.681	32.058	-24.314	-66.4550	FFS2	1.0000	
8	0.000	-2.961	32.677	-25.968	∞	DOE	1.5745	33.8
9	0.000	-3.399	33.576	-25.968	∞	SPH	1.0000	
10	0.000	-9.446	35.399	-56.139	14.4333	FFS4	1.5745	33.8
11	0.000	-18.877	41.162	-96.420	-79.9863	FFS5	-1.5745	33.8
12	0.000	-3.916	31.506	-83.928	19.3015	FFS6	-1.0000	
1	0.000	8.784	30.155	-123.421	∞	SPH	-1.0000	0.0
FFS1	k : 3.8943e+001	c 5: -5.0226e-004	c 6: 1.9564e-004	c10: 5.2454e-006	c11: -2.6022e-005	c12: -6.0280e-008	c13: -2.4732e-007	c14: 1.8297e-008
FFS2	k : 9.0852e-001	c 5: -7.4766e-004	c 6: -2.5995e-004	c10: -2.8129e-006	c11: -9.0165e-006	c12: -1.2338e-007	c13: 7.6003e-008	c14: 1.4288e-007
FFS3	k : 3.5982e+001	c 5: -3.8187e-003	c 6: 2.9264e-004	c10: -1.1347e-004	c11: 1.0236e-004	c12: 2.8904e-006	c13: -3.2687e-006	c14: 2.0202e-006
FFS4	k : -2.2155e+000	c 5: 1.8777e-003	c 6: -1.0615e-003	c10: 2.5755e-004	c11: 8.6464e-005	c12: -1.1919e-008	c13: 1.1051e-005	c14: -8.5536e-006
FFS5	k : -3.8144e+001	c 5: 5.2523e-005	c 6: 8.9472e-005	c10: 3.1568e-005	c11: 3.0802e-005	c12: 7.5012e-007	c13: 1.9095e-006	c14: -5.7663e-007
FFS6	k : -6.9861e-001	c 5: 3.5615e-003	c 6: 2.6976e-003	c10: 1.2315e-004	c11: 8.1226e-005	c12: -6.0454e-006	c13: -1.1706e-005	c14: 1.6423e-006
DOE	RDX: ∞	c 3: 8.6489e-003	c 5: 2.3731e-003	c 7: -1.3028e-004	c 9: 5.2552e-005	c10: 2.6857e-005	c12: 4.3924e-005	c14: 2.3239e-005
		c18: 4.9269e-007	c20: -3.6108e-007	c21: -9.6098e-009	c23: -1.8309e-007	c25: -2.8997e-007	c27: -1.3766e-007	
	ry: ∞ rx: ∞							
	ry/rx = 1							

さらに、以上説明した各実施形態は、以下に示す各発明を実施した場合の例でもある。

【0 2 2 9】

〔発明 1〕 表示手段からの光線に対し偏心して配置された反射作用を有する第 1 の面と、この第 1 の面で反射した光線を再度前記第 1 の面に向けて反射する第 2 の面とを少なくとも含む複数の光学面を有し、

前記第 1 の面は、前記第 2 の面から該第 1 の面に再度入射した中心画角主光線が、該第 1 の面における該主光線のヒットポイント上での法線に対して前回とは反対側に反射し、

かつ前記複数の光学面のうち少なくとも 1 面は回折光学面であることを特徴とする光学系。

【0230】

これにより、小型の光学系でありながらも光路長を長く確保でき、広画角を達成することができる。しかも、色収差や偏心収差の発生を抑制することができる。

【0231】

〔発明 2〕 前記第 2 の面が前記回折光学面であることを特徴とする発明 1 に記載の光学系。

【0232】

〔発明 3〕 前記第 1 の面および前記回折光学面である前記第 2 の面が、内部が光学媒質で満たされた透明体上にあることを特徴とする発明 2 に記載の光学系。

【0233】

本発明 2、3 によれば、第 2 の面を回折光学面とすることで効率良く諸収差を補正、特に色収差の補正に寄与し、良好な光学性能を得ることができる。

【0234】

〔発明 4〕 前記複数の光学面のうち前記第 1 および第 2 の面以外の面が前記回折光学面であることを特徴とする発明 1 に記載の光学系。

【0235】

〔発明 5〕 前記第 1 および第 2 の面が、内部が光学媒質で満たされた第 1 の透明体上にあり、

前記第 1 および第 2 の面以外の前記回折光学面が、内部が光学媒質で満たされ

た第2の透明体上にあることを特徴とする発明4に記載の光学系。

発明4、5によれば、光学系で発生した偏心収差を補正し、非常に良好な光学性能を得ることができる。

【0236】

〔発明6〕 前記回折光学面は、回転対称の曲面形状を有し、該曲面上に位相分布を有することを特徴とする発明1から5のいずれかに記載の光学系。

【0237】

〔発明7〕 前記回折光学面は、回転非対称の曲面形状を有し、該曲面上に位相分布を有することを特徴とする発明1から5のいずれかに記載の光学系。

【0238】

これら発明6、7によれば、回折光学面にパワーを持たせることができるため、不要な面を取り除くことができ、より小型化を図ることができる。特に、発明7のように、非回転対称の曲面上に位相分布を持たせることで、回折光学面でのパワーに対し自由度が増し、諸収差を適切に抑制することもできる。

【0239】

〔発明8〕 前記位相分布は、回転対称であることを特徴とする発明6又は7に記載の光学系。

【0240】

これにより、製造の負担が少なくなり、製造し易くなる。

【0241】

〔発明9〕 前記位相分布は、回転非対称であることを特徴とする発明6又は7に記載の光学系。

【0242】

これにより、諸収差を抑制するためにより適切な回折光学面を形成することができる。

【0243】

〔発明10〕 前記回折光学面が反射作用を有する光学面であることを特徴とする発明1に記載の光学系。

【0244】

このように、回折光学面が反射作用を持つことで、屈折系で発生する色収差発生をキャンセルさせ、また光学系全体の諸収差を補正し、良好な光学性能を持たせることができる。

【0245】

〔発明11〕 前記回折光学面が透過作用を有する光学面であることを特徴とする発明1に記載の光学系。

【0246】

このように、回折光学面が透過作用を持つことで、格子の溝が深くなってもその深さの公差が緩いため、製造がし易くなる。

【0247】

〔発明12〕 該光学系内で物体からの光が中間結像を形成することを特徴とする発明1から11にいずれかに記載の光学系。

このように中間像を形成することにより光学系の倍率を高くすることができる。

【0248】

〔発明13〕 前記回折光学面が、前記物体の位置と中間結像位置との間に設けられていることを特徴とする発明12に記載の光学系。

【0249】

このように、物体の位置と中間結像面との間に回折光学面を配置することにより、色収差と偏心収差を効率良く抑制し、良好な光学性能を得ることができる。

【0250】

〔発明13〕 前記回折光学面は、物体からの光の瞳結像位置に近接して設けられていることを特徴する発明12に記載の光学系。

【0251】

これにより、物体近傍に回折光学面を配置する場合に比べて格子ピッチを大きくすることができるため、回折光学面を製作し易い。

【0252】

〔発明14〕 前記第1および第2の面と、第3の面とが内部が光学媒質で満たされた透明体上にあり、

前記透明体に入射する光線は、順に、前記第3の面を透過し、前記第1の面で

反射し、前記第2の面で反射し、前記第1の面で反射し、前記第3の面で反射し、前記第1の面を透過する光路又はその逆の順の光路を辿って前記透明体から射出することを特徴とする発明1に記載の光学系。

【0253】

〔発明15〕 前記第1の面で反射して最初に前記第2の面に入射する中心画角光線との反射光線とのなす角度 θ が、

$$|\theta| < 60^\circ$$

なる条件を満足することを特徴とする発明14に記載の光学系。

【0254】

〔発明16〕 前記第1および第2の面と、第3の面とが内部が光学媒質で満たされた透明体上にあり、

前記透明体に入射する光線は、順に、前記第3の面を透過して、前記第1の面で反射し、前記第2の面で反射し、前記第1の面で反射し、前記第2の面で反射し、前記第1の面で反射し、前記第3の面で反射し、前記第1の面を透過する光路又はその逆の順の光路を辿って前記透明体から射出することを特徴とする発明1に記載の光学系。

【0255】

〔発明17〕 前記第2の面で反射して最初に前記第1の面に入射する中心画角光線との反射光線とのなす角度 θ が、

$$|\theta| < 60^\circ$$

なる条件を満足することを特徴とする発明16に記載の光学系。

【0256】

〔発明18〕 原画を形成する画像形成素子と、

前記原画からの光線を、観察者の眼又は被投射面に導く発明1から17のいずれかに記載の光学系とを有することを特徴とする表示光学系。

【0257】

〔発明19〕 請求項18に記載の表示光学系を備えたことを特徴とする画像表示装置。

【0258】

〔発明 2 0〕 被写体像を光電変換する撮像素子と、
前記撮像素子の撮像面に被写体像を形成する発明 1 から 1 7 のいずれかに記載
の光学系とを有することを特徴とする撮像光学系。

【 0 2 5 9 】

〔発明 2 1〕 請求項 2 0 に記載の撮像光学系を備えたことを特徴とする撮像
装置。

【 0 2 6 0 】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、小型の光学系でありながらも光路長を
長く確保でき、広画角を達成することができる。しかも、色収差や偏心収差の発
生を抑制することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の実施形態 1 である光学系を画像表示装置に適用した場合の光学系の構
成図。

【図 2】

本発明の実施形態 2 である光学系を撮像装置に適用した場合の光学系の構成図
。

【図 3】

本発明の実施形態 3 である光学系を画像表示装置に適用した場合の光学系の構
成図。

【図 4】

本発明の実施形態 4 である光学系を撮像装置に適用した場合の光学系の構成図
。

【図 5】

本発明の数値実施例 1 の光学系の断面図。

【図 6】

本発明の数値実施例 2 の光学系の断面図。

【図 7】

本発明の数値実施例 3 の光学系の断面図。

【図 8】

本発明の数値実施例 4 の光学系の断面図。

【図 9】

本発明の数値実施例 5 の光学系の断面図。

【図 10】

本発明の数値実施例 6 の光学系の断面図。

【図 11】

本発明の数値実施例 7 の光学系の断面図。

【図 12】

本発明の数値実施例 8 の光学系の断面図。

【図 13】

本発明の数値実施例 9 の光学系の断面図。

【図 14】

本発明の数値実施例 10 の光学系の断面図。

【図 15】

本発明の数値実施例 11 の光学系の断面図。

【図 16】

本発明の数値実施例 12 の光学系の断面図。

【図 17】

従来の画像表示装置の概略図。

【図 18】

従来の画像表示装置の概略図。

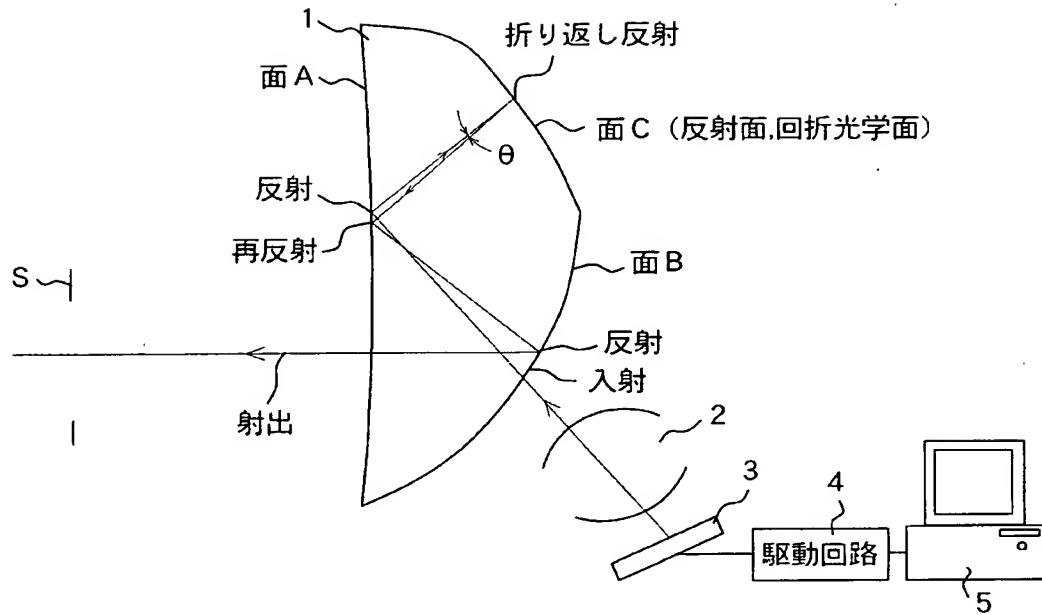
【符号の説明】

- 1, 11 光学素子（第 1 の光学系）
- 2, 12 第 2 の光学系
- 3, 13 画像形成素子
- 4, 14 撮像素子

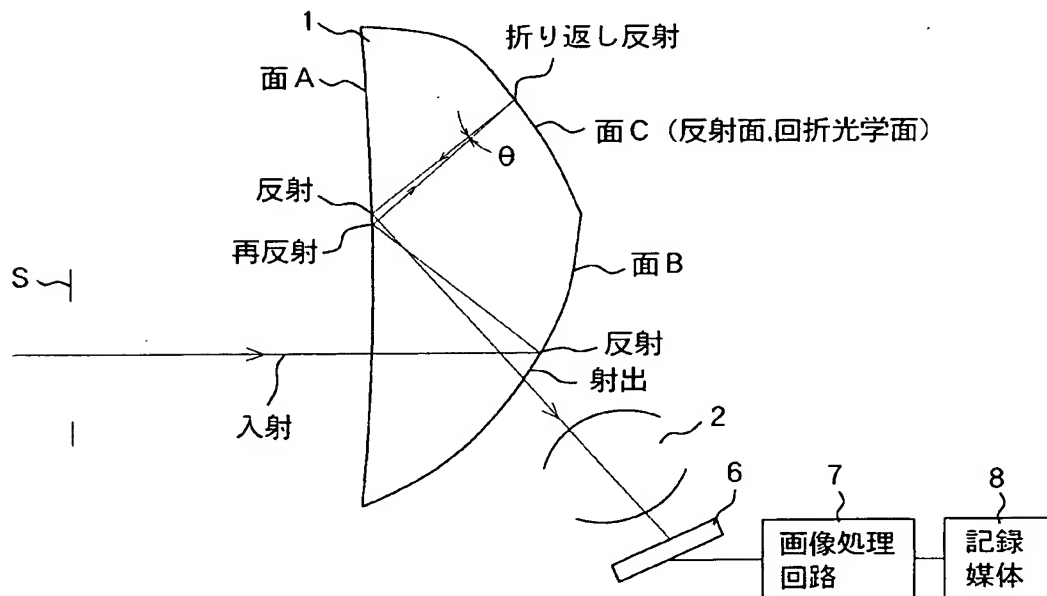
【書類名】

図面

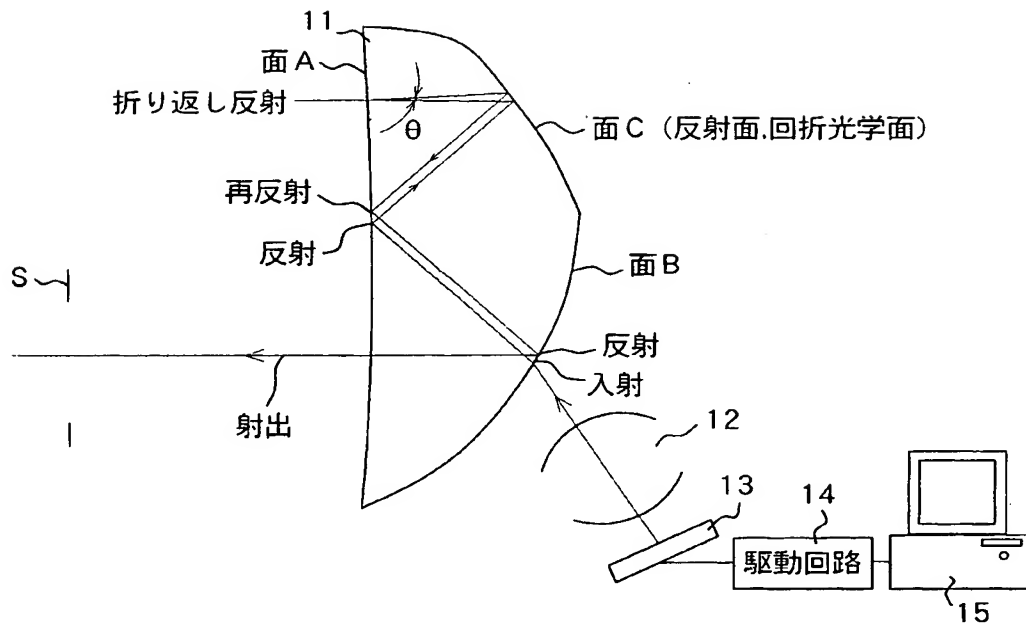
【図 1】



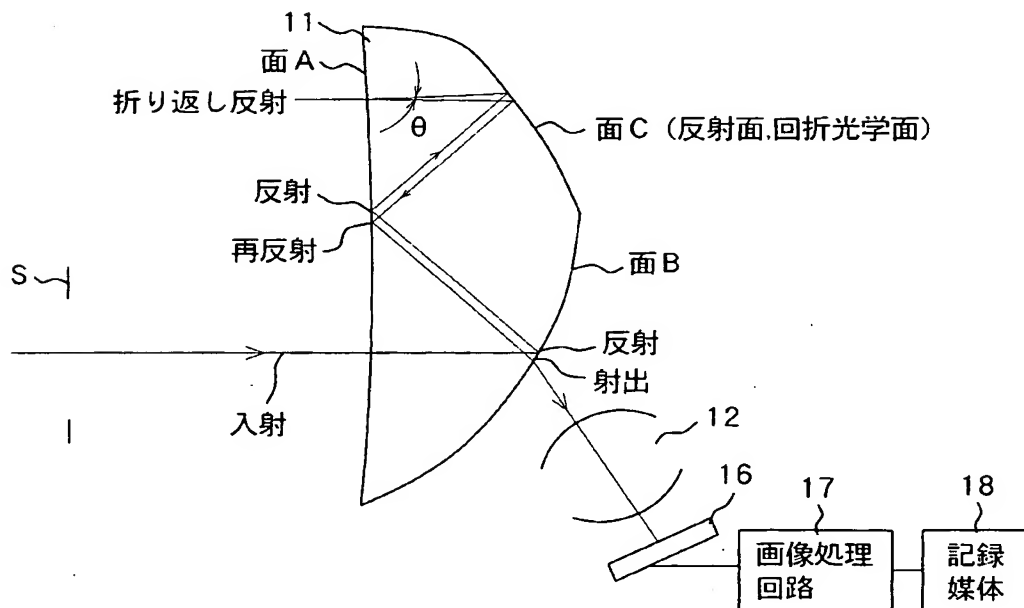
【図 2】



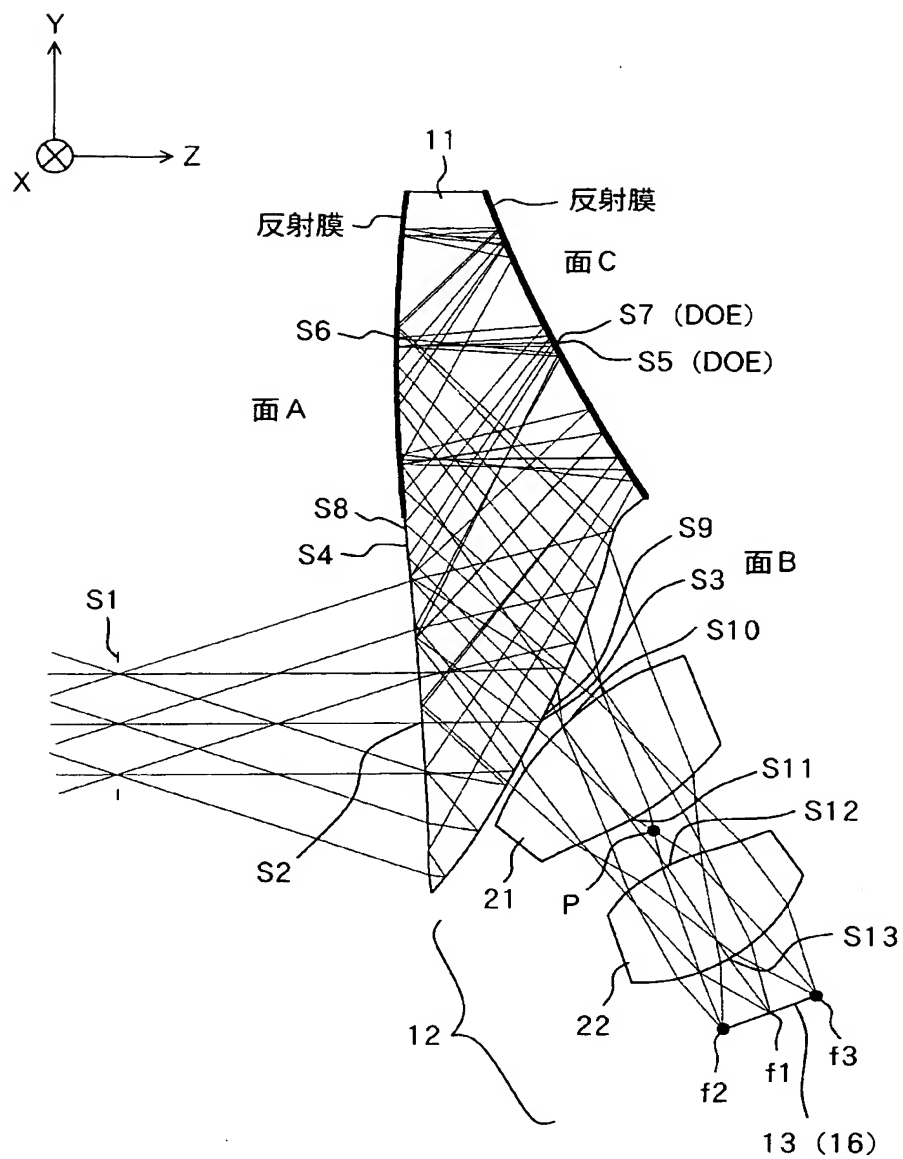
【図 3】



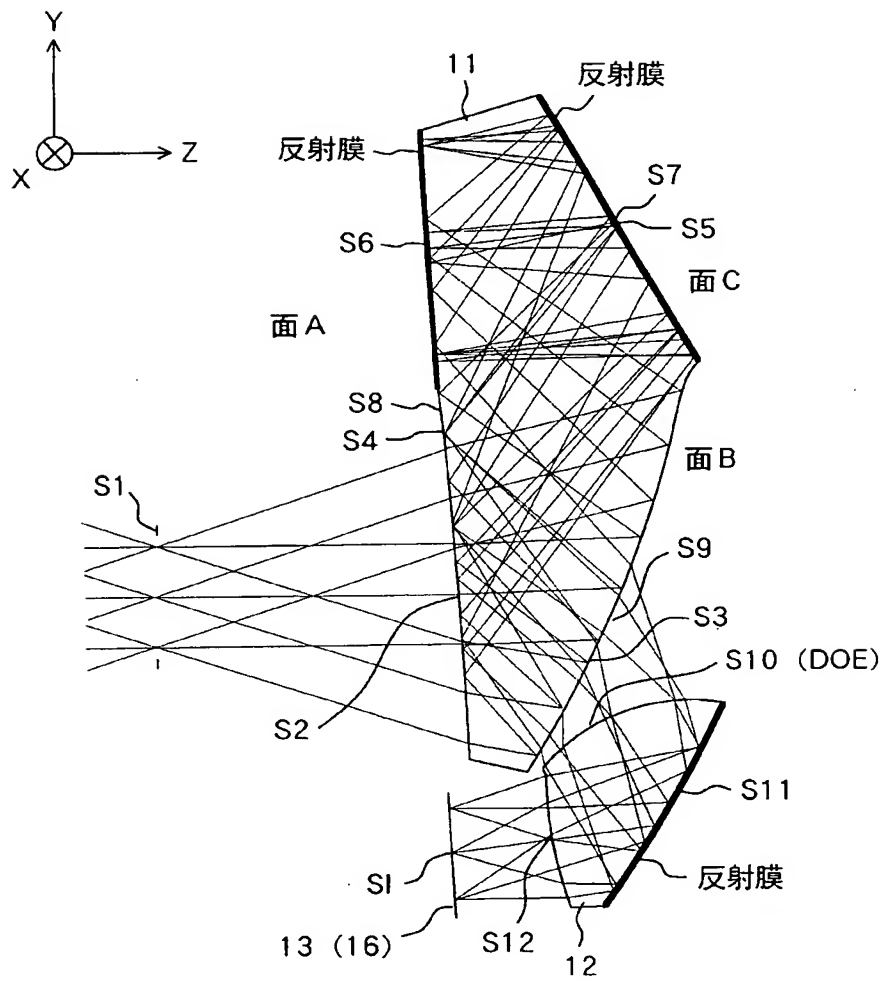
【図 4】



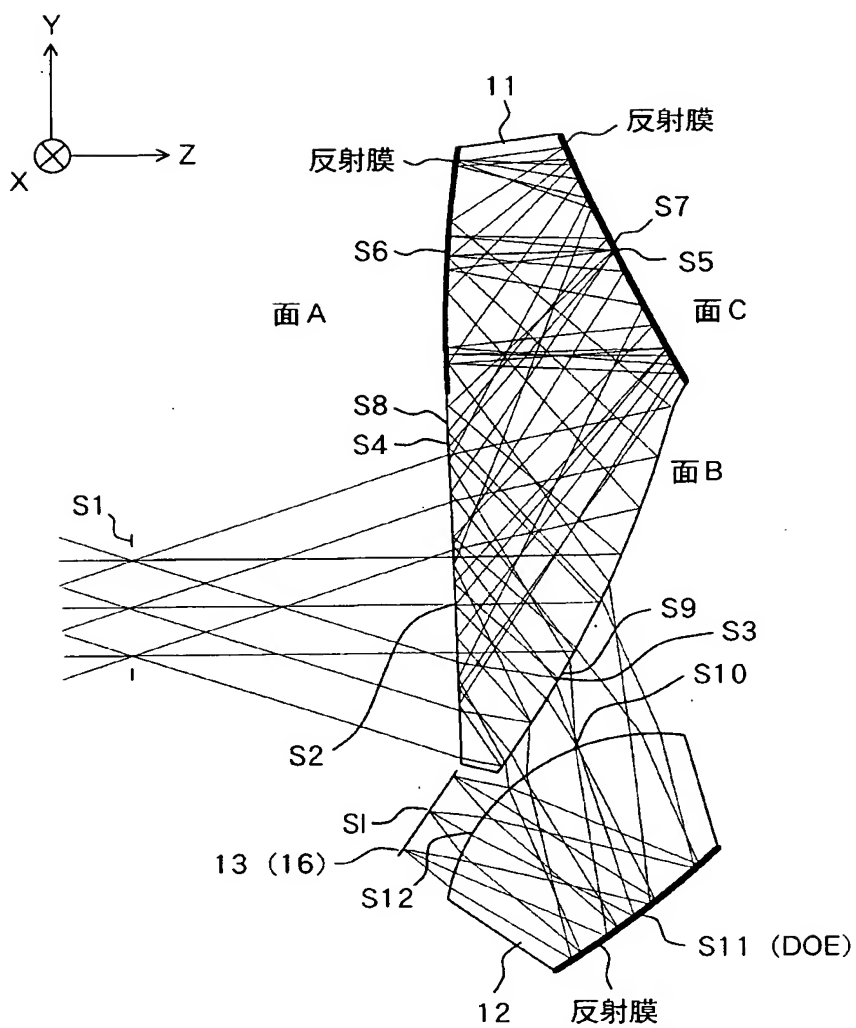
【図 5】



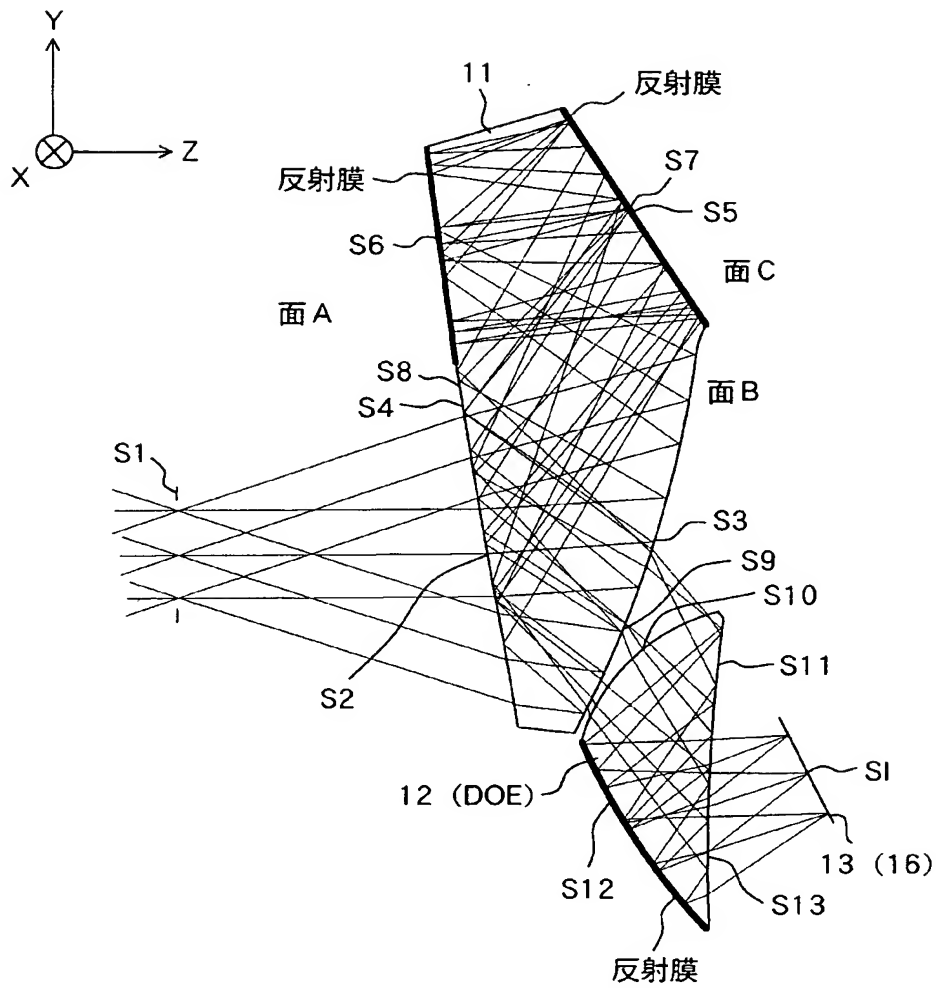
【図 6】



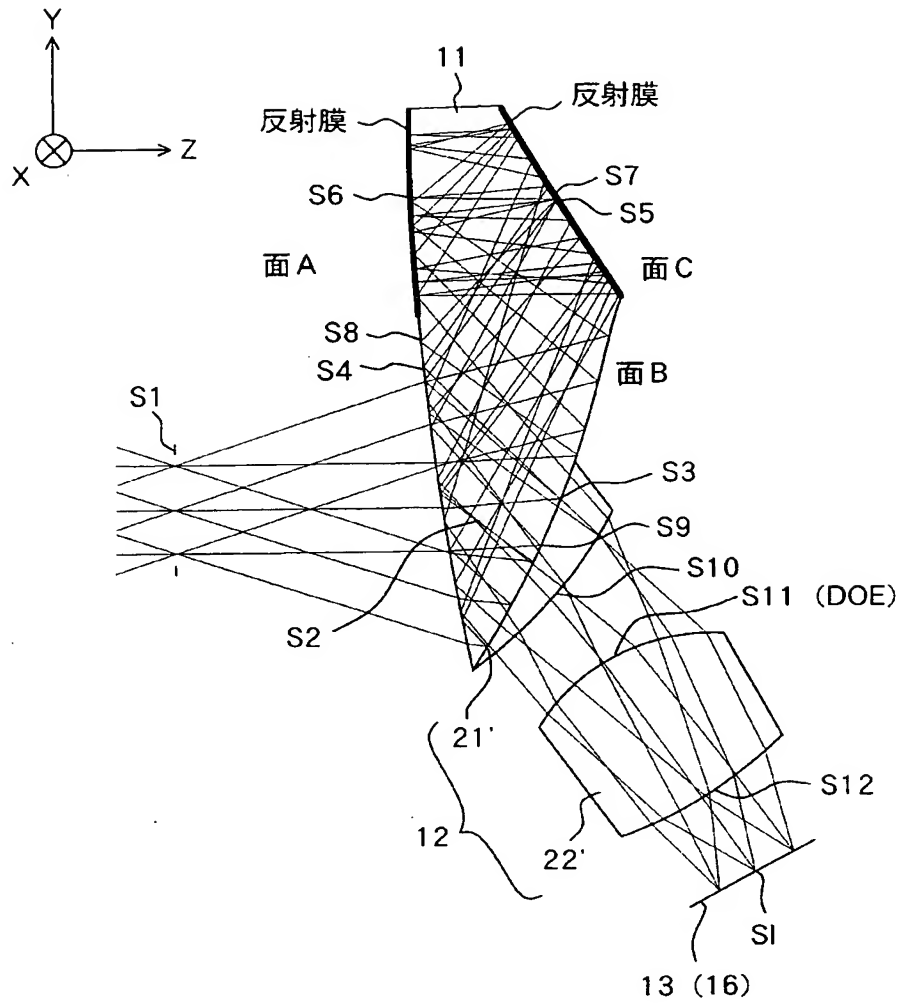
【図 7】



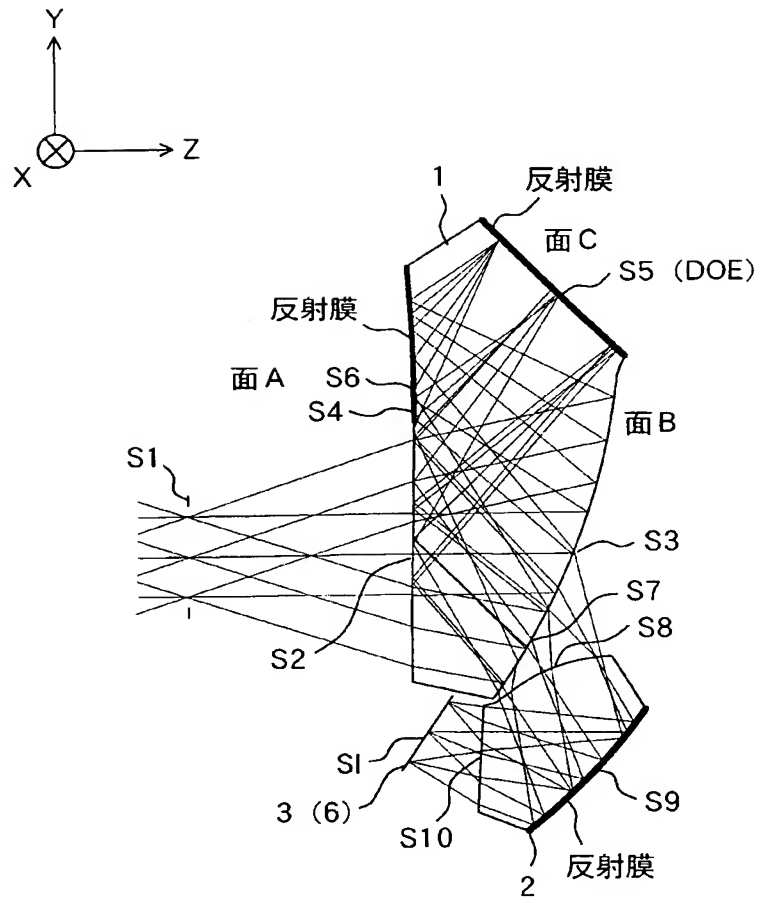
【図 8】



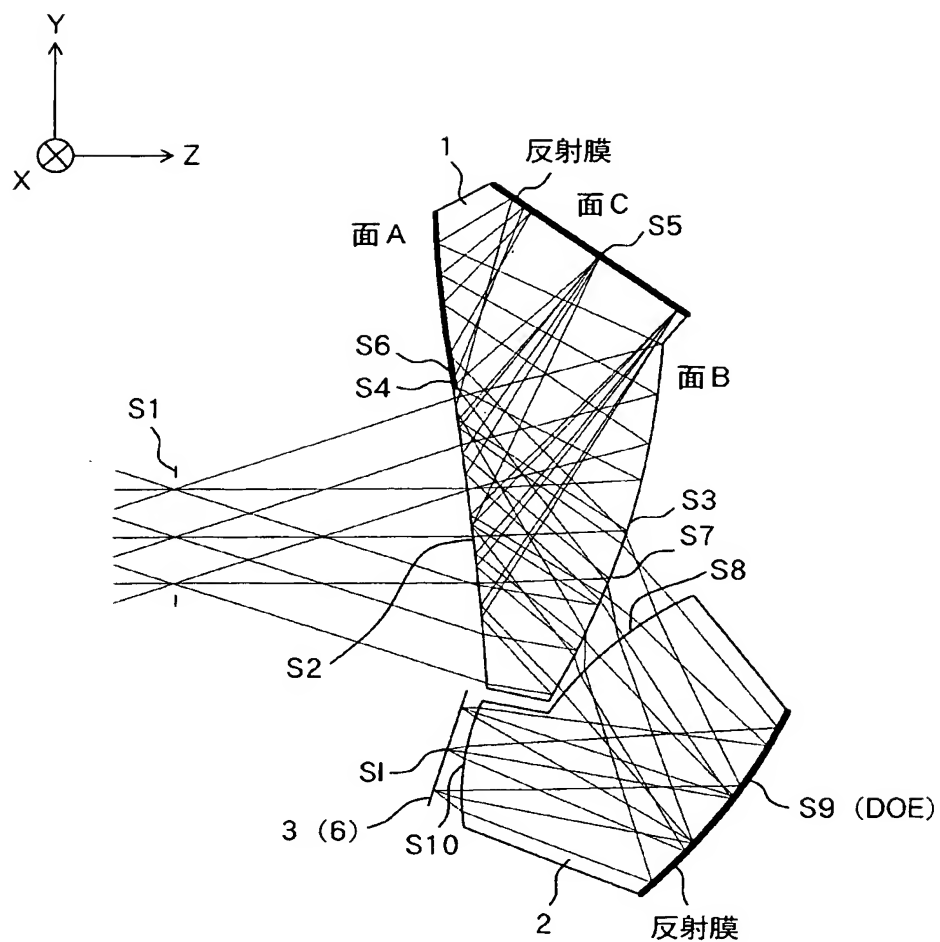
【図 9】



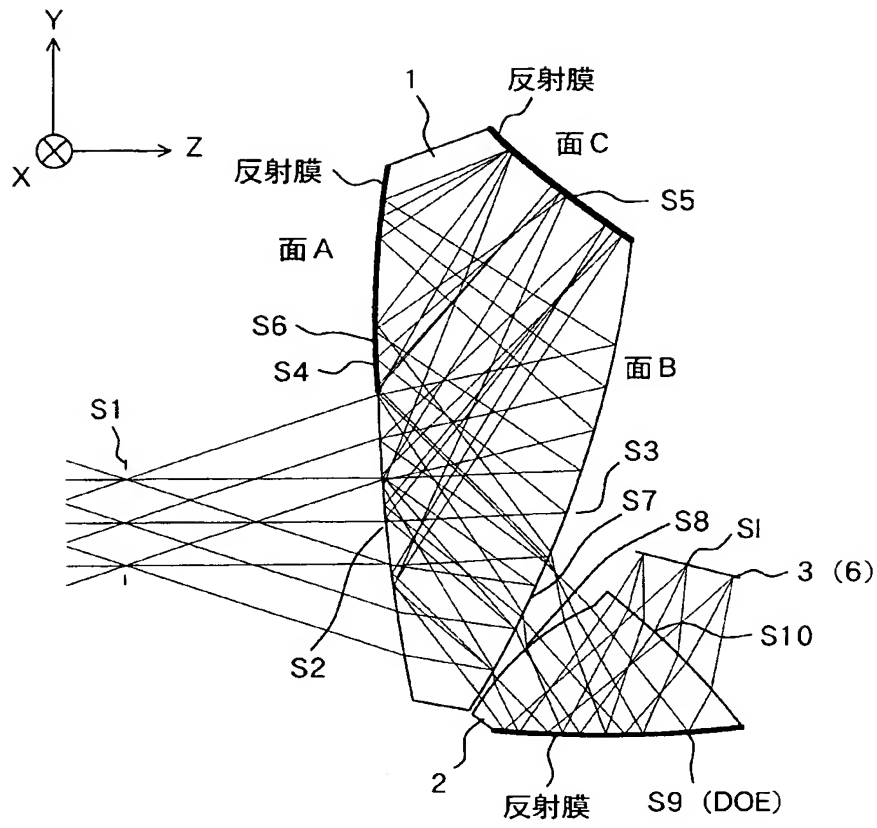
【図 10】



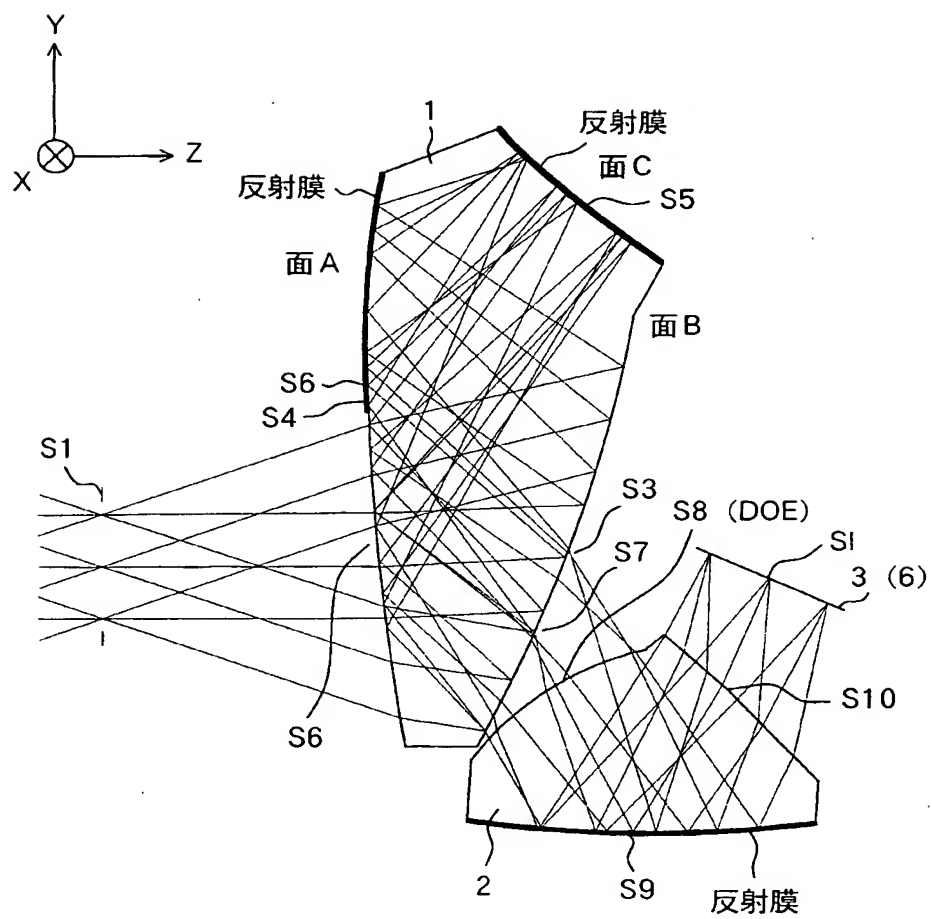
【図 11】



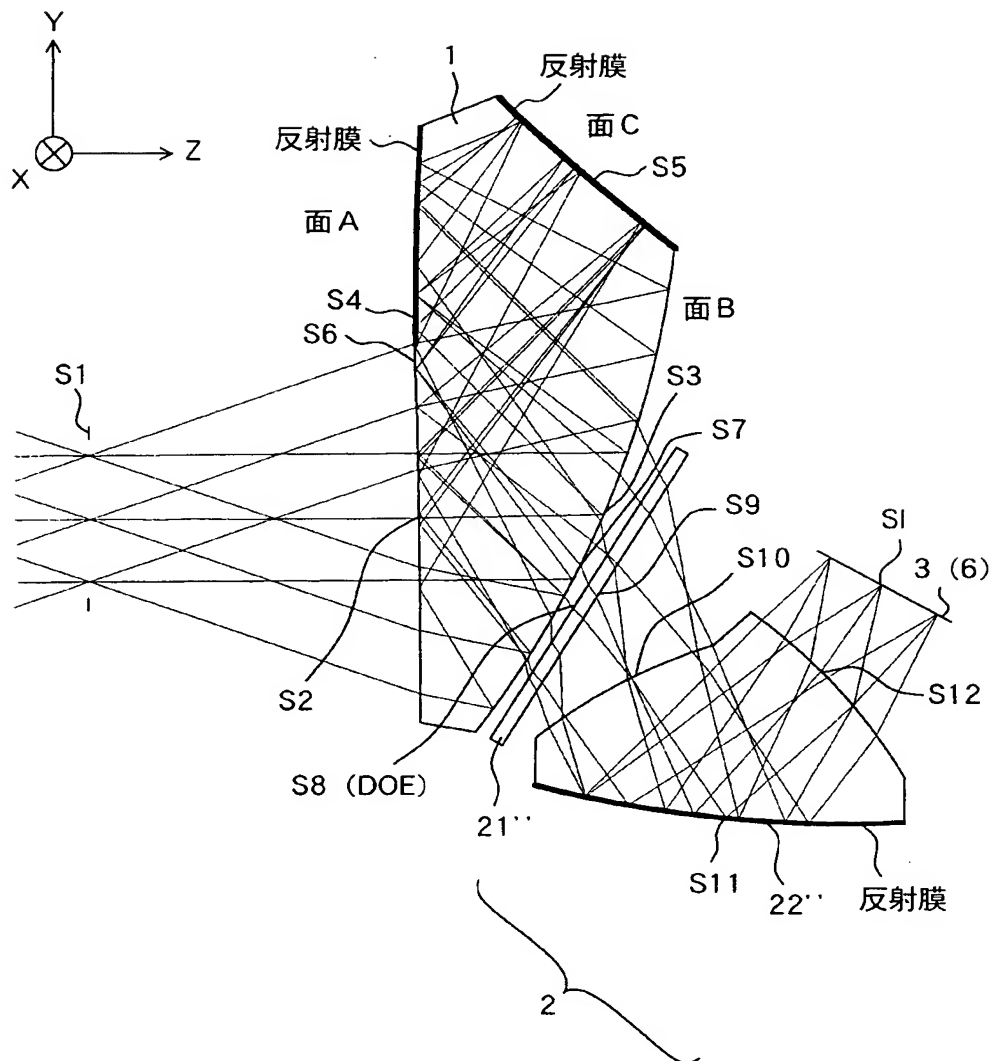
【図 12】



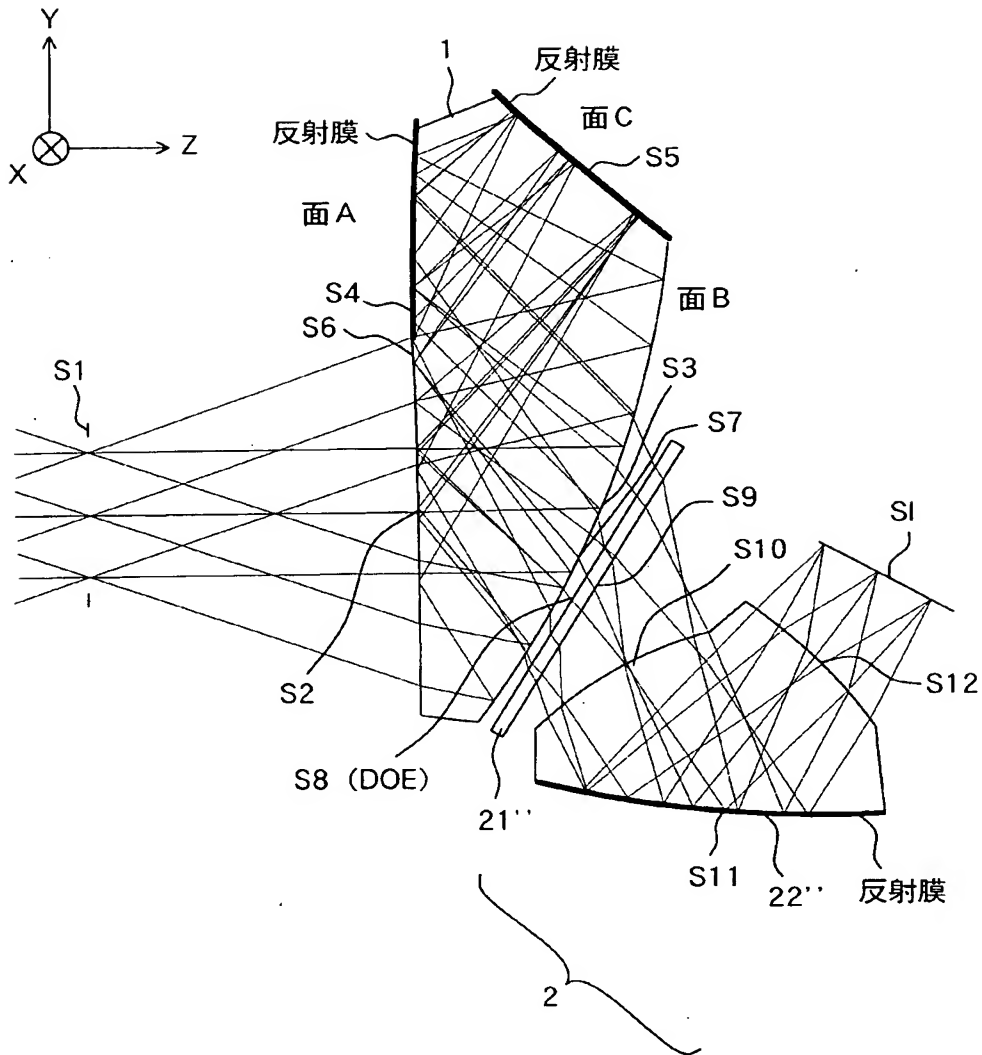
【図 14】



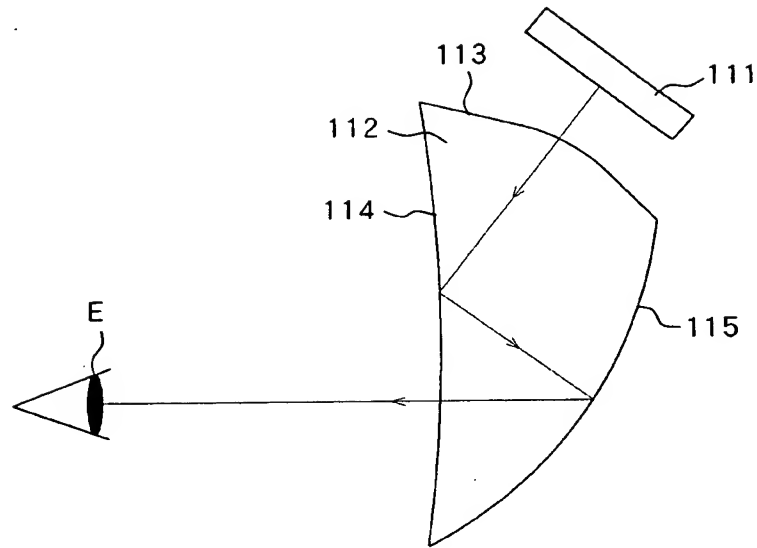
【図 15】



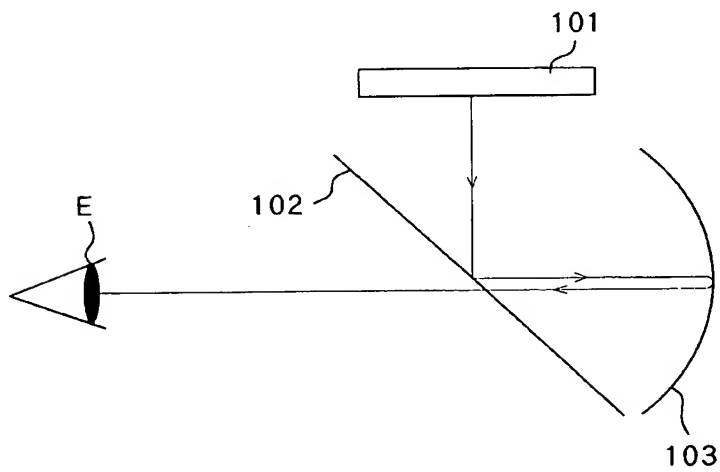
【図 16】



【図 17】



【図 18】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 高倍率化が容易であり、かつ諸収差も良好に補正でき、しかも小型の光学系を提供する。

【解決手段】 少なくとも反射作用を有する第1の面Aと、この第1の面で反射した光線を再度第1の面に向けて反射する第2の面Cとを少なくとも含む複数の光学面A～Cを有し、第1の面は、第2の面から該第1の面に再度入射した中心画角主光線を、該第1の面における該主光線のヒットポイント上での法線に対して前回とは反対側に反射する。そして、上記複数の光学面のうち少なくとも1面を回折光学面とする。

【選択図】 図1

特願 2 0 0 3 - 0 2 5 3 0 5

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 1 0 0 7]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 3 0 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都大田区下丸子 3 丁目 3 0 番 2 号

氏 名

キヤノン株式会社